ANNEXES

ANNEXE I.

DÉFINITIONS

Altitude

L'altitude d'un bâtiment correspond à l'altitude du seuil de la porte d'entrée principale du bâtiment.

Baie

Au sens du présent arrêté, une baie est une ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant à l'éclairage, au passage ou à l'aération, y inclus les protections solaires associées le cas échéant. Une paroi transparente ou translucide est considérée comme une baie.

Bâtiment

Bien immeuble couvert et destiné à accueillir une occupation, une activité ou tout autre usage humain.

Partie de bâtiment à usage d'habitation

Au sens du présent arrêté, on entend par partie de bâtiment à usage d'habitation une partie de bâtiment comportant des logements, ainsi éventuellement que des parties communes.

Les parties de résidences de tourisme comportant des ensembles de locaux à usage privatif composées d'au moins un local de sommeil, une cuisine et un sanitaire sont considérées comme étant à usage d'habitation au sens du présent arrêté.

Bâtiment d'habitation collectif, aussi appelé « logement collectif »

Bâtiment à usage principal d'habitation regroupant strictement plus de deux logements partiellement ou totalement superposés.

Bâtiments accolés

Deux bâtiments sont dits accolés s'ils sont juxtaposés et liés par des parois mitoyennes, dont la surface de contact est d'au moins 15 m² pour les maisons et 50 m² pour les autres bâtiments. Au sens du présent règlement, les bâtiments accolés sont considérés comme un bâtiment unique, sans que cela ne puisse modifier l'usage à considérer pour chaque partie de bâtiment.

Composant

Le terme « composant » s'entend au sens du chapitre VI de l'annexe à l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation.

Écart majeur à la méthode de calcul

Écart obtenu, pour au moins un des indicateurs réglementaires calculés à partir de la méthode de calcul mentionnée à l'article 8 donnant une valeur plus favorable d'au moins 2 % par rapport à la valeur obtenue à partir des mêmes données descriptives, à l'issue de l'application correcte de cette méthode de calcul.

Local

Un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois horizontales et verticales, fixes ou mobiles.

Local traversant

Un local est dit traversant, au sens du confort d'été de la méthode de calcul mentionnée à l'article 8, si, pour chaque orientation (verticale nord, verticale est, verticale sud, verticale ouest, horizontale) la surface des baies est inférieure à 75 % de la surface totale des baies du local.

Maison individuelle

Une maison individuelle est un bâtiment à usage d'habitation qui n'est pas un bâtiment d'habitation collectif.

Occupation passagère d'un local

Un local à occupation passagère est un local qui par destination n'implique pas une durée de séjour pour un occupant supérieure à une demi-heure.

C'est le cas par exemple des circulations, des salles de bains et de douches, et des cabinets d'aisance. En revanche, une cuisine ou un hall comportant un poste de travail ne sont pas considérés comme un local à occupation passagère.

Orientations

L'orientation nord est toute orientation comprise entre le nord-est et le nord-ouest en passant par le nord, y compris les orientations nord-est et nord-ouest.

L'orientation est toute orientation comprise entre le nord-est et le sud-est en passant par l'est, non compris les orientations nord-est et sud-est.

L'orientation sud est toute orientation comprise entre le sud-est et le sud-ouest en passant par le sud, y compris les orientations sud-est et sud-ouest.

L'orientation ouest est toute orientation comprise entre le sud-ouest et le nord-ouest en passant par l'ouest, non compris les orientations sud-ouest et nord-ouest.

Paroi verticale ou horizontale

Une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est égal ou supérieur à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés.

Partie de bâtiment thermiquement homogène

Ensemble de locaux présentant une évolution de la température intérieure similaire. En particulier, des locaux raccordés à des systèmes de refroidissement différents ne sont pas considérés thermiquement homogènes. Des locaux traversants et des locaux non traversants ne sont pas considérés thermiquement homogènes.

Plancher bas

Un plancher bas est une paroi horizontale dont seule la face supérieure donne sur un local chauffé.

Plancher intermédiaire

Un plancher intermédiaire est une paroi horizontale dont les faces inférieure et supérieure donnent sur un local chauffé.

Réseau de chaleur ou de froid urbain

Au sens du présent arrêté, un réseau de chaleur ou de froid est un réseau technique constitué :
- a minima d'un réseau de canalisations qui distribue l'énergie thermique à une pluralité de clients et de bâtiments ;
- et le cas échéant, d'une ou plusieurs installations de production de chaleur ou de froid, ou de récupération de chaleur ou de froid.

Pour l'application du Titre V du présent arrêté, un réseau de chaleur n'est considéré comme un réseau de chaleur urbain, que si le ou les maîtres d'ouvrage des bâtiments construits et alimentés par le réseau ne peuvent pas avoir accès aux caractéristiques techniques des bâtiments et du réseau construits. Lorsque le maître d'ouvrage de la construction de bâtiments appartient à la même entité que le maître d'ouvrage du réseau de chaleur les alimentant, il est supposé avoir accès aux caractéristiques techniques des bâtiments et du réseau construits.

Surface de référence d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment

- Pour un bâtiment ou une partie de bâtiment à usage d'habitation, surface habitable du bâtiment ou de la partie de bâtiment ;
- Pour les autres cas : surface utile du bâtiment ou de la partie de bâtiment

Surface habitable d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment

Cette surface est définie pour tout bâtiment ou partie de bâtiment à usage d'habitation.

La surface habitable d'un logement au sens du présent arrêté est celle définie par l'article R.* 156-1 du code de la construction et de l'habitation, en incluant la superficie de vérandas chauffées écartée par le

3e alinéa de ce même article. La surface habitable d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est la somme des surfaces habitables des logements le constituant.

Surface utile d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment

Cette surface est définie pour tout bâtiment ou partie de bâtiment à usage autre que d'habitation.

La surface utile d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment au sens du présent arrêté, est la surface de plancher construite des locaux soumis à la réglementation environnementale qui, en utilisation normale, sont chauffés à une température supérieure à 12°C ou refroidis à une température inférieure à 30°C, après déduction des :

- surfaces occupées par les murs, y compris l'isolation ;
- cloisons fixes prévues aux plans ;
- poteaux ;
- marches et cages d'escaliers ;
- gaines ;
- ébrasements de portes et de fenêtres ;
- parties des locaux d'une hauteur inférieure à 1,80 m ;
- parties du niveau inférieur servant d'emprise à un escalier, à une rampe d'accès ou les parties du niveau inférieur auquel s'arrêtent les trémies des ascenseurs, des monte-charges, des gaines et des conduits de fumée ou de ventilation ;
- locaux techniques exclusivement affectés au fonctionnement général du bâtiment et à occupation passagère.

Système

Composant ou ensemble de composants permettant de remplir une ou plusieurs fonctions du bâtiment. Ces fonctions peuvent notamment être la production de chaleur, d'eau chaude sanitaire ou de froid, une régulation de telles production, ou l'isolation du bâtiment vis-à-vis des conditions climatiques extérieures.

Système de climatisation

Un système de climatisation est un équipement de production de froid associé à des émetteurs de froid destiné au confort des personnes, permettant de maintenir une température de consigne de 26°C en conditions estivales.

Usage d'une partie de bâtiment

Il s'agit de la fonction de la partie de bâtiment, ou des locaux spécifiques qui la composent. Dans le cas d'une extension, en l'absence de locaux spécifiques, l'usage de cette extension est celui du bâtiment existant.

Usage principal d'un bâtiment

L'usage auquel est affectée la plus grande surface de plancher du bâtiment.

Zone de bâtiment

Une zone de bâtiment, parfois désignée « zone », est une partie de bâtiment comportant un unique usage.

Annexe II : Règles générales pour le calcul de la performance énergétique et environnementale

SOMMAIRE :

1. CADRE GÉNÉRAL DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS NEUFS 5

1.1 Champ d'application et périmètre 5

1.2 Principes de la méthode de calcul 6
1.2.1 Les différents modes de calcul de la performance énergétique 9
1.2.2 Principes généraux et différents modes de calcul des impacts environnementaux 10

1.3 Segmentation spatiale des calculs 11
1.3.1 Cas du calcul énergétique 11
1.3.2 Cas de l'analyse de cycle de vie 13

1.4 Segmentation temporelle des calculs 14
1.4.1 Cas du calcul énergétique 14
1.4.2 Cas du calcul environnemental 17

2. LES DONNEES D'ENTREE DE LA METHODE 19

2.1 Généralités sur les données d'entrée 19

2.2 Les données conventionnelles 19
2.2.1 Les données conventionnelles utilisées pour le calcul énergétique 19
2.2.2 Les scénarios et donnees conventionnels pour le calcul environnemental 22

2.3 Caractérisation du bâtiment et de ses équipements, Les données d'entrée de la méthode de calcul 24
2.3.1 Introduction 24
2.3.2 La composition physique détaillee du bâtiment 25
2.3.3 La surface de référence 25
2.3.4 Le climat 25
2.3.5 L'environnement proche 33
2.3.6 Les scénarios liés à l'occupation des locaux 34
2.3.7 L'enveloppe du bâtiment 34
2.3.8 L'inertie thermique 35
2.3.9 Le déplacement des occupants à l'intérieur du bâtiment 36
2.3.10 La ventilation 36
2.3.11 Le chauffage et le refroidissement 37
2.3.12 L'eau chaude sanitaire 37
2.3.13 L'éclairage artificiel 38
2.3.14 La production d'électricité 39
2.3.15 Données d'entrée de l'ACV pour les contributions Chantier et Eau 39

2.4 Les données d'entree spécifiques 39
2.4.1 Les donnees spécifiques du calcul énergétique 39
2.4.2 Les donnees environnementales spécifiques sur les produits de construction et les équipements 40

2.5 Les données par défaut 40
2.5.1 Pour le calcul énergétique 40
2.5.2 Pour le calcul environnemental 40

2.6 PRIORITE D'USAGE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES 40

3. CALCUL DES DIFFERENTS POSTES DE CONSOMMATION ET PRODUCTION D'ENERGIE 41

3.1 Calcul de la consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement 41
3.1.1 Energie nécessaire aux bornes de la production pour le chauffage et le refroidissement 41
3.1.2 Efficacité des systèmes de production de chaleur et de refroidissement 44

3.2 Calcul de la consommation d'énergie pour l'ECS 46

3.3 Calcul de la consommation d'énergie pour l'éclairage des locaux 47

3.4 Calcul de la consommation d'énergie des auxiliaires de chauffage, refroidissement, ECS et de ventilation 48

3.5 Les usages spécifiques de l'électricité 49

3.6 Calcul de la consommation d'énergie liée aux déplacements des occupants à l'intérieur des bâtiments 49

3.7 Calcul de la production locale électrique 51
3.7.1 Principe de fonctionnement du modèle de cogénération. 51
3.7.2 Principe de fonctionnement du modèle de capteurs photovoltaïques. 51

4. ANALYSE DU CYCLE DE VIE 54

4.1 Principe général de calcul d'une contribution aux impacts 54

4.2 Calcul de la contribution aux impacts des composants 55
4.2.1 Calcul détaillé de la contribution aux impacts des composants 55
4.2.2 Calcul simplifié de la contribution aux impacts des composants 70

4.3 Calcul de la contribution aux impacts des consommations d'énergie 71
4.3.1 Calcul statique de la contribution aux impacts des consommations d'énergie 71
4.3.2 Calcul dynamique de la contribution aux impacts des consommations d'énergie 72

4.4 Calcul de la contribution aux impacts des consommations et rejets d'eau 73
4.4.1 Calcul détaillé 73
4.4.2 Calcul simplifié 80

4.5 Calcul de la contribution aux impacts du chantier de construction 80
4.5.1 Calcul détaillé 81
4.5.2 Calcul simplifié 84

4.6 Calcul de la contribution de la parcelle aux impacts 85
4.6.1 Calcul détaillé 85
4.6.2 Calcul simplifié 89

4.7 Calcul des bénéfices et charges liés à l'export d'énergie 89
4.7.1 Calcul statique 90
4.7.2 Calcul dynamique 90

5. CALCUL DES INDICATEURS DE PERFORMANCE 91

5.1 Indicateur de confort d'été - Calcul de l'indicateur degrés-heures 91

5.2 Indicateurs de performance énergétique - Calcul de l'indicateur Bbio et des indicateurs CEp et Cep,nr 92

5.2.1 L'efficacité énergétique du bâti – indicateur Bbio : 92
5.2.2 L'efficacité des systèmes énergétiques – indicateurs Cep et Cep,nr : 93
5.2.3 Consommation par occupant 94

5.3 Indicateurs de performance environnementale 95

5.3.1 Indicateurs d'impacts sur le changement climatique 95
5.3.2 Indicateur de stockage de carbone biogénique 97
5.3.3 Autres indicateurs environnementaux 98
5.3.4 Indicateur de l'usage de données par défaut dans l'évaluation 99

1. CADRE GÉNÉRAL DE LA MÉTHODE DE CALCUL DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES BÂTIMENTS NEUFS

La présente annexe décrit la méthode réglementaire de calcul de la performance énergétique et environnementale des bâtiments neufs. Cette méthode vise notamment le calcul des indicateurs énergétiques et environnementaux décrits au chapitre 5.

Pour ce faire, elle se base sur des données d'entrée permettant de définir, les éléments descriptifs du bâtiment et de ses composants.

S'agissant d'un calcul réglementaire, elle n'a pas pour vocation de faire une prédiction de consommation réelle ou de confort réel d'été.

La méthode de calcul énergétique est décrite dans ses principes généraux dans la présente annexe, et de manière détaillée en annexe III du présent arrêté. Elle est dénommée « méthode Th-BCE 2020 » (décrivant la méthode de calcul réglementaire des Besoins énergétiques, des Consommations énergétiques et du confort d'Été, pour les différents indicateurs décrits dans le chapitre 5 de la présente annexe), ou « méthode Th-BCE ».

Les modalités d'obtention de certaines des données d'entrée de cette méthode de calcul énergétique sont précisées en annexe IV du présent arrêté, dans un ensemble de règles appelées « Règles Th-Bat 2020 ».

La méthode de calcul environnementale est décrite dans la présente annexe. Elle s'appuie sur une analyse du cycle de vie (ACV) du bâtiment. Les modalités de production des données d'entrée de cette méthode sont décrites au chapitre V du présent arrêté.

1.1 CHAMP D'APPLICATION ET PERIMETRE

Les éléments apportés après la réception du bâtiment, les futurs modes d'occupation du bâtiment, ainsi que certaines contraintes extérieures au bâtiment (météorologie…) intervenant dans la méthode de calcul sont définis de façon conventionnelle.

La méthode permet de calculer les indicateurs de performance énergétique, environnementale et de confort d'été pour une opération de construction sous la responsabilité d'un maître d'ouvrage. Cette opération de construction peut être un bâtiment ou une partie de bâtiment correspondant à une entité programmatique. Une entité programmatique est un ensemble d'espaces d'une même activité sous la responsabilité d'un même maître d'ouvrage.

Périmètre temporel

Lorsque la construction fait suite à la démolition d'un bâtiment existant ou à la dépollution d'une parcelle polluée, ces étapes sont exclues de l'évaluation du bâtiment sur son cycle de vie. Dans ces deux cas, on considère que la remise en l'état de la parcelle pour pouvoir accueillir la nouvelle construction est en dehors du périmètre temporel d'étude. Le début du cycle de vie du bâtiment commence par l'extraction des matières première destinées à la fabrication des composants qui le constituent (produits de construction et équipements techniques) et se termine par le traitement et la valorisation des déchets qui seront générés par sa démolition lors de sa fin de vie. Le cycle de vie inclut notamment le chantier de construction (y compris terrassement) et la phase d'exploitation du bâtiment (y compris entretien et maintenance). La durée conventionnelle de la phase d'exploitation du bâtiment (« sa durée de vie ») prise en compte dans le calcul est appelée période d'étude de référence (PER). **La période d'étude de référence est de 50 ans pour tous les bâtiments.**

Périmètre physique

Le périmètre retenu est celui du permis de construire. L'évaluation est donc réalisée sur le bâtiment et sa parcelle : aménagements extérieurs, raccordements au réseau, voirie, production d'électricité sur des espaces attenants. Si la parcelle compte plusieurs bâtiments, le calcul peut porter sur plusieurs bâtiments si ceux-ci font l'objet d'un permis de construire unique, mais l'évaluation de la conformité réglementaire reste à l'échelle du bâtiment sauf exceptions (bâtiments accolés).

Périmètre de prise en compte de la phase d'exploitation du bâtiment

Les postes de consommation intégrés dans la méthode de calcul sont les suivants :

- Pour le calcul des indicateurs Cep et Cep,nr :
  - Chauffage des locaux y compris les besoins liés au réchauffement de l'air neuf soufflé dans le bâtiment,
  - Refroidissement des locaux
  - Satisfaction des besoins d'eau chaude sanitaire
  - Consommations d'éclairage artificiel des locaux, y compris des parties communes des logements collectifs (pour les équipements immobiliers et conventionnellement pour certains équipements mobiliers)
  - Auxiliaires utilisés pour la ventilation des bâtiments
  - Auxiliaires liés au fonctionnement des générateurs assurant le chauffage et/ou le refroidissement des locaux, la production d'eau chaude sanitaire, et la distribution hydraulique dans les locaux
  - Déplacement des occupants à l'intérieur du bâtiment lorsque ceux-ci nécessitent une consommation d'énergie (utilisation d'ascenseurs ou d'escalators), intégrant les consommations liées aux éventuels parkings (éclairage et ventilation)
- Pour le calcul du taux d'autoconsommation des productions locales d'électricité
  - Les consommations liées aux usages mobiliers du bâtiment (équipements électriques, éclairage mobilier)

Ces postes de consommation ne tiennent pas compte des consommations d'énergie directement nécessaires au fonctionnement des équipements dits de process.

Les usages de l'énergie pris en compte dans l'analyse de cycle de vie dans la phase d'exploitation du bâtiment sont ceux utilisés pour le calcul des performances énergétiques décrits ci-dessus.

Les usages de l'eau pris en compte sont ceux dus aux installations et équipements prévus par le permis de construire.

Les activités hébergées par le bâtiment ne sont pas prises en compte au-delà des éléments pris en compte dans la méthode de calcul énergétique ou dans les usages de l'eau prévus ci-dessus. Les déchets d'activité (comme par exemple les déchets ménagers ou les déchets industriels) ne sont donc notamment pas pris en compte. Tous les équipements mobiliers liés à l'usage du bâtiment (comme par exemple l'électroménager pour un logement ; les ordinateurs, copieurs pour des bureaux ; les mobiliers de bureau pour un établissement scolaire) ne sont donc pas non plus dans le périmètre de l'évaluation.

1.2 PRINCIPES DE LA METHODE DE CALCUL

Le calcul de la performance énergétique et environnementale est décomposé en deux étapes complémentaires :

- Etape 1 : simulation énergétique et calcul des indicateurs énergétiques,
- Etape 2 : calcul de l'ACV et des indicateurs environnementaux en utilisant certaines données de sortie de la simulation énergétique.

Les figures ci-dessous présentent les grands principes de ces deux étapes.

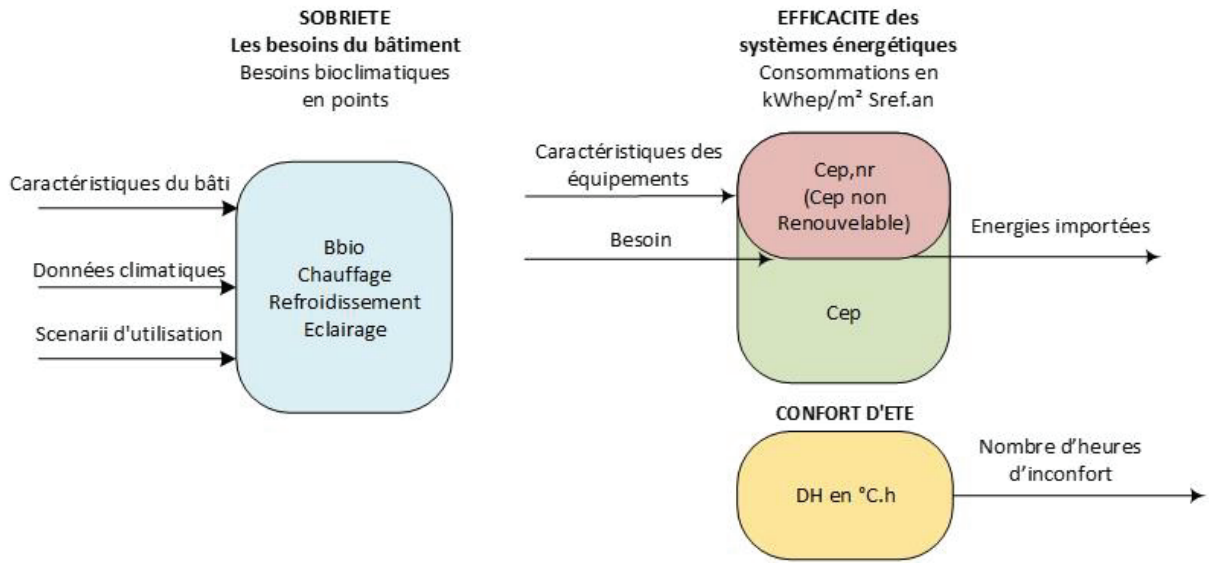


Figure 1 – Principes de la méthode de calcul – Etape 1

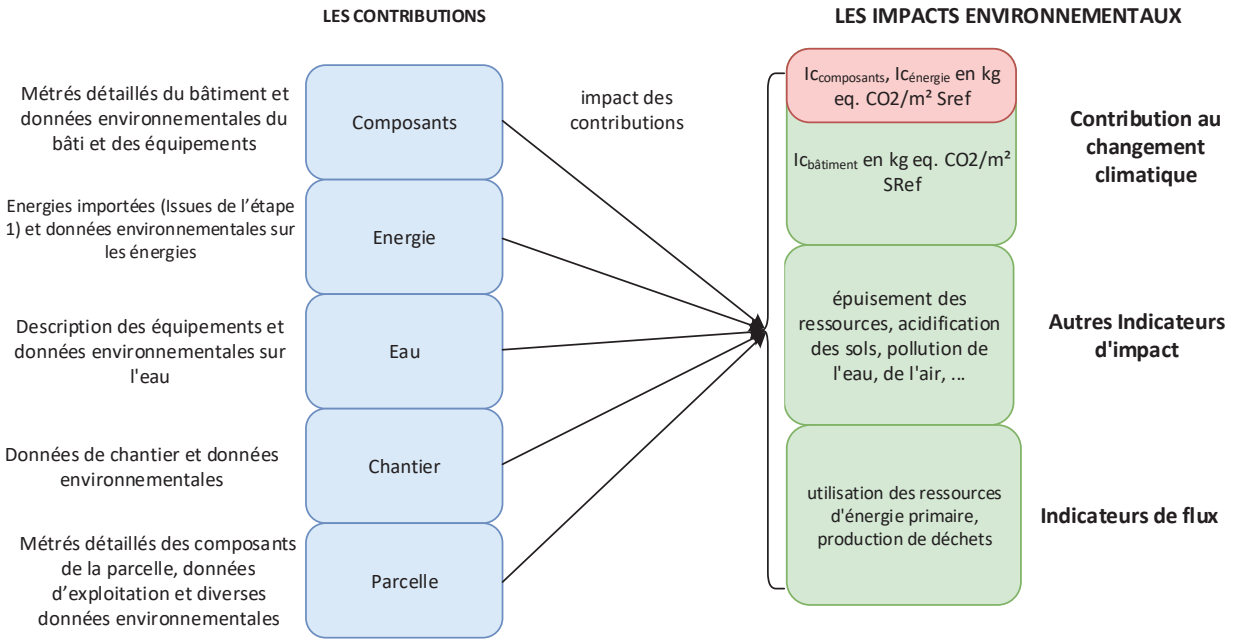


Figure 2 – Principes de la méthode de calcul – Etape 2

Le calcul de la performance environnementale d'un bâtiment prend en compte ses impacts environnementaux tout au long de son cycle de vie et est basée sur une analyse du cycle de vie (ACV).

L'analyse de cycle de vie permet de prendre en compte une grande partie des impacts environnementaux. Elle permet également, en s'appuyant sur une vision globale multicritère, d'éviter les transferts d'impacts entre contributions et phases du cycle de vie et d'identifier les leviers d'actions pour améliorer la performance globale du bâtiment.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX et CYCLE DE VIE DU BATIMENT								
		Phase de production	Phase d'Edification	Phase d'exploitation		Phase de fin de vie		Bénéfices et charges liés à la valorisation en fin de vie et à l'export d'énergie
				Entretien Maintenance	Opération			
CONTRIBUTIONS	Composants	✓	✓	✓		✓		✓
	Energie				✓			✓
	Eau				✓			
	Chantier		✓					
	Parcelle	✓	✓	✓	✓	✓		✓

Tableau 1 - Cycle de vie du bâtiment et contributions aux impacts

Plus d'information sur les différentes phases du cycle de vie est fournie au paragraphe 1.4.2.

Pour chacune de ces phases du cycle de vie, la méthode prévoit de prendre en compte la contribution aux impacts environnementaux d'un certain nombre de postes spécifiques. Les contributions prises en compte dans la méthode sont :

- Les produits de construction et équipements du bâtiment (composants)
- Les consommations d'énergie du bâtiment en fonctionnement (énergie)
- Les consommations et rejets d'eau (eau)
- Le chantier de construction (chantier)
- Les aménagements et l'usage de la parcelle (parcelle)

La contribution « composants » prend en compte l'ensemble des composants du bâtiment (les produits de construction et équipements) prévus lors de l'édification, y compris ceux des réseaux qui l'alimentent, ainsi que ceux des espaces réservés aux aires de stationnement qui desservent le bâtiment (qu'ils soient physiquement liés ou non à celui-ci) (voir 4.2).

La contribution « énergie » prend en compte les usages de l'énergie dans le bâtiment décrits au 1.1 (voir 4.3).

La contribution « eau » couvre, pour la phase d'exploitation du bâtiment, tous les usages de l'eau à l'échelle du bâtiment et la gestion des eaux pluviales captées par le bâtiment et la parcelle ainsi que leur assainissement. (voir 4.4).

La contribution « chantier » couvre les consommations d'énergie du chantier d'édification, les consommations et rejets d'eau du chantier, l'évacuation et le traitement des déchets du terrassement non pris en compte dans la contribution « composants ». (voir 4.5).

La contribution « parcelle » prend en compte l'ensemble des composants nécessaires aux ouvrages présents sur la parcelle hors bâtiment, réseaux, systèmes de production d'énergie et aires de stationnement. Il s'agit notamment des composants nécessaires à la clôture de la parcelle et à la réalisation des voiries hors aires de stationnement. Elle prend aussi en compte les usages d'eau nécessaires à l'arrosage des espaces végétalisés de la parcelle et aux usages particuliers de l'eau (comme le nettoyage des voiries par exemple) (voir 4.6).

1.2.1 LES DIFFERENTS MODES DE CALCUL DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE

Le calcul de la performance énergétique réglementaire du bâtiment fait intervenir différents modes de calcul, indépendants ou liés les uns aux autres, caractérisés par des conventions d'usage et des caractérisations des systèmes différentes. Ces différents modes de calcul sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Mode de calcul	Principaux indicateurs calculés	Principales spécificités
Th-B	Bbio en points Besoin de chauffage, de refroidissement, et d'éclairage artificiel en kWhef/m²	Débits de ventilation : débits hygiéniques réglementaires et système de ventilation prédéfini Fichier climatique sans séquence caniculaire
Th-C	Cep (consommation d'énergie primaire conventionnelle) Cep,nr (consommation d'énergie primaire non renouvelable) Bilan BEPOS (Bilan entre consommation primaire d'énergie non renouvelable et la production électrique exportée)	Fichier climatique sans séquence caniculaire
Th-D	DH – degrés-heures d'inconfort	Fichier climatique avec séquence caniculaire Utilisation renforcée des protections solaires

Tableau 2 – Les différents modes de calcul énergétique

Selon le taux d'inconfort observé dans le bâtiment (lié à la valeur de l'indicateur DH), un forfait de consommations de refroidissement peut être ajouté aux consommations du bâtiment. Le schéma ci-dessous présente les conditions de calcul de ce forfait.

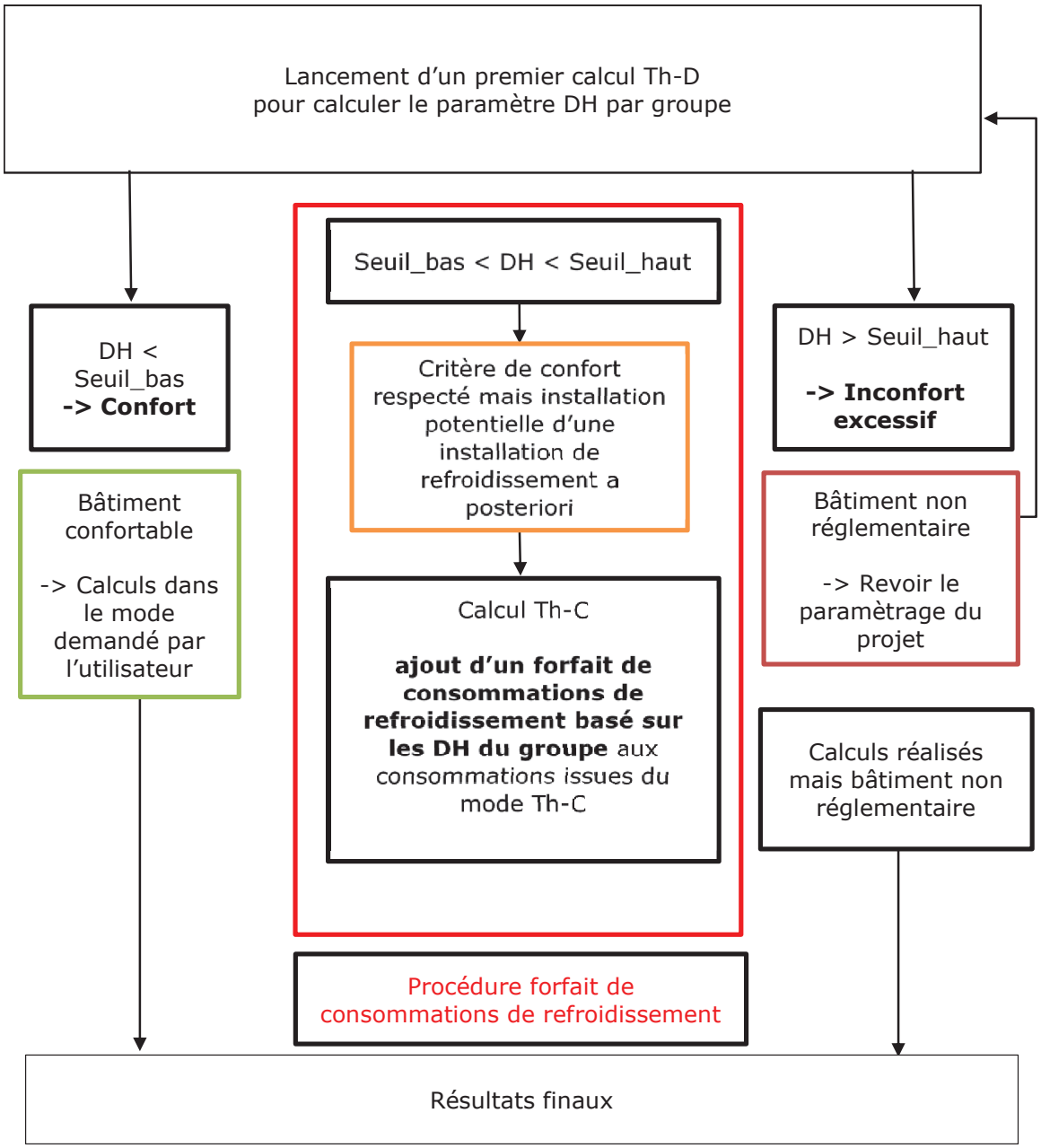


Figure 3 – schéma de principe de la procédure de prise en compte d'un forfait de consommation pour la consommation de refroidissement

1.2.2 PRINCIPES GENERAUX ET DIFFERENTS MODES DE CALCUL DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Conventions de notation

Dans la suite de la présente annexe :

I_X désigne l'ensemble des impacts environnementaux d'un objet X sur l'ensemble du cycle de vie. Il s'agit sauf précision contraire d'un vecteur (voir Tableau 12 pour la liste des impacts

environnementaux calculés). L'objet peut être tout ou partie du bâtiment ou de la parcelle ou une contribution.

I_X^Y désigne l'ensemble des impacts environnementaux d'un objet X pour la phase du cycle de vie Y. Il s'agit sauf précision contraire d'un vecteur.

$I_X^{module\ Z}$ désigne l'ensemble des impacts environnementaux d'un objet X pour le module Z. Il s'agit sauf précision contraire d'un vecteur.

Dans la suite de la présente annexe, chaque formule de calcul des impacts environnementaux traduit le calcul du vecteur constitué de l'ensemble des impacts environnementaux. Les formules sont donc en général et sauf précision contraire des formules vectorielles.

Les principes généraux de calcul de chacune des contributions sont explicités au chapitre 4.1.

La méthode de calcul permet de calculer chacune des contributions décrites au chapitre 1.2 et pour chaque phase du cycle de vie.

Pour chaque contribution, la méthode peut être déclinée en une version :

- Détaillée, elle-même déclinable en version statique ou dynamique
- Simplifiée, elle-même déclinable en version statique ou dynamique.

La méthode dynamique ne s'applique qu'au calcul de l'indicateur d'impact sur le changement climatique. Pour traduire cela, la notation I_X^Y est remplacée par la notation Ic_X^Y dans le cas de la méthode dynamique .

La description et l'utilisation des différentes méthodes sont décrites au chapitre 4.

Les indicateurs de performance environnementale sont calculés à partir de ces contributions.

1.3 SEGMENTATION SPATIALE DES CALCULS

1.3.1 CAS DU CALCUL ENERGETIQUE

Pour le calcul énergétique, le bâtiment est décrit suivant quatre niveaux :

a. le niveau « Bâtiment »,
b. le niveau « Zone »,
c. le niveau « Groupe »,
d. le niveau « Local ».

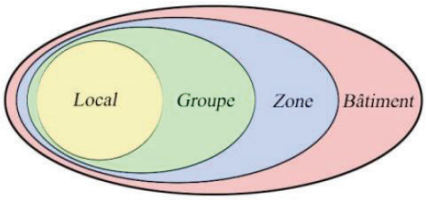


Figure 4 – schéma de principe du découpage du bâtiment pour le calcul énergétique

Le calcul réglementaire peut être réalisé sur plusieurs bâtiments, regroupés au sein d'un projet, mais les exigences réglementaires vont s'appliquer bâtiment par bâtiment, sauf exception.

Le niveau « bâtiment »

C'est le niveau où s'expriment les exigences réglementaires relatives aux besoins et aux consommations d'énergie (indicateurs Bbio, Cep et Cep,nr) et ce, à partir des éléments remontant des groupes et des zones composant le bâtiment. Les éléments communs à tout le bâtiment (par exemple la situation géographique ou l'altitude) sont définis à ce niveau.

Le niveau « zone »

Ce niveau correspond à un regroupement des parties de bâtiment pour lesquelles les scénarios d'utilisation sont identiques : un bâtiment comportant plusieurs typologies d'usage devra avoir autant de zones que de typologies d'usage. A titre d'illustration, un bâtiment mixte possédant au rez-de-chaussée des commerces, et dans ses étages supérieurs des logements collectifs sera modélisé en deux zones d'usage distincts regroupant d'un côté les différents commerces, et de l'autre l'ensemble des logements.

Le niveau « groupe »

Ce niveau regroupe la quasi-totalité des informations requises. C'est en particulier à ce niveau que s'effectue le calcul des températures intérieures, du nombre de degrés-heures d'inconfort, ainsi que des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage artificiel qui vont être agrégés au niveau bâtiment.

Une même zone sera séparée en différents groupes pour les raisons suivantes :

a. Les locaux principaux ont des évolutions de température très différentes : c'est par exemple le cas si une partie des locaux principaux d'une même zone est refroidie et les autres non,
b. Les locaux ont des températures proches mais on veut séparer des besoins de chauffage et / ou de refroidissement pour permettre la prise en compte de systèmes énergétiques réalisant des transferts d'énergie entre locaux.
c. Pour séparer les locaux selon leur aspect traversant ou non traversant en rapport au confort d'été, dans le cas des logements collectifs. Ils sont différenciés sur ce point selon la répartition des baies du logement sur les différentes orientations.

L'éclairement intérieur est calculé au niveau du groupe après distinction entre parties ayant ou non accès à l'éclairage naturel.

Du fait de la définition de la zone, les différents groupes d'une même zone sont considérés en connexion aéraulique.

Le niveau « local »

Au sens de la présente méthode de calcul le niveau « Local » permet d'affiner les apports internes de chaleur et d'humidité, pris en compte ensuite au niveau du groupe. Les surfaces des locaux sont définies par défaut dans la méthode de calcul, au niveau de la zone.

Il est par exemple prévu des locaux spécifiques « Classes – 55% de la surface du groupe » et « Salle de repos – 15% », pour l'usage « Enseignement Primaire ».



Figure 5 – Représentation de locaux spécifiques de l'usage « enseignement primaire »

D'autres locaux, non spécifiques, sont également présents (Circulations, accueil, Bureau, salle de réunion).

Le schéma ci-dessous rend compte de cette structuration du bâtiment.

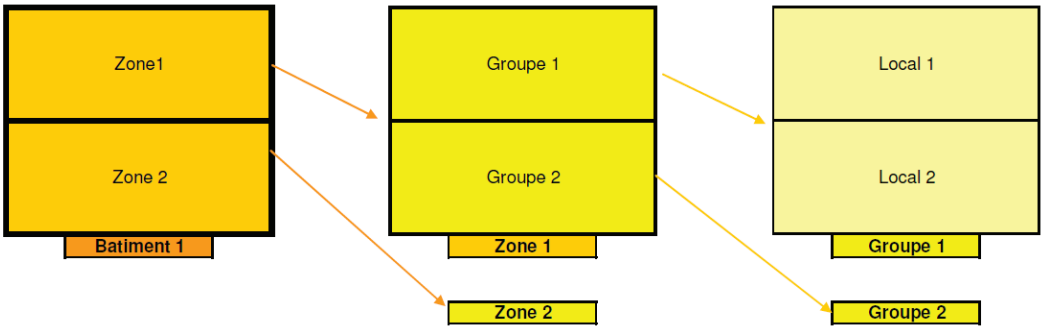


Figure 6 – Schéma récapitulatif de la structuration du bâtiment

1.3.2 CAS DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Pour l'analyse de cycle de vie, et plus spécifiquement pour le calcul de la contribution « Composants », le bâtiment (et sa parcelle) sont décrits suivant quatre niveaux :

a. Le niveau « Bâtiment » (ou "Parcelle")
b. Le niveau « Entité programmatique »
c. Le niveau « Lot »
d. Le niveau «Sous-lot »

Note : Dans de nombreux cas, le périmètre du bâtiment et de l'entité programmatique sont identiques.

1.4 SEGMENTATION TEMPORELLE DES CALCULS

1.4.1 CAS DU CALCUL ENERGETIQUE

La méthode de calcul énergétique est une méthode au pas de temps horaire. Les calculs sont menés pour une année civile non bissextile, allant du lundi 1er Janvier au 31 décembre.

Les saisons dans le calcul réglementaire

Dans de nombreux cas, le fonctionnement des équipements (qu'ils concernent le bâti ou les systèmes) présente un aspect saisonnier. Ceci peut être lié à la présence d'automatismes mais également à des comportements conventionnels du gestionnaire ou de l'occupant.

Deux catégories de saisons sont définies :

- l'une pour l'autorisation du fonctionnement des équipements de chauffage et de refroidissement,
- l'autre pour la gestion des protections solaires mobiles et la surventilation naturelle par ouverture des baies.

Fonctionnement saisonnier des équipements de chauffage et de refroidissement :

Concernant les équipements, selon leur fonction (chauffage, refroidissement), ils sont soumis à des autorisations de fonctionnement (dites respectivement saison de chauffage et saison de refroidissement pour indiquer respectivement l'autorisation de chauffer ou de refroidir les locaux). Les dates de début et de fin de ces saisons sont déterminées au travers de tests logiques menés à chaque début de jour de simulation :

- L'initiation d'une saison repose sur la comparaison du total cumulé des degrés-heures d'inconfort thermique froid (respectivement chaud) à un seuil de 40 °C.h.
- L'achèvement d'une saison est quant à lui associé à une comparaison de la moyenne glissante des besoins en chaud (respectivement en froid) sur une période de 4 semaines glissantes à une valeur limite de 2 Wh/m².

Par défaut, les 8 premières semaines de l'année sont considérées comme étant de saison de chauffage. De même, par défaut, 10 semaines durant l'été sont considérées comme n'étant pas de la saison de chauffage. En mode Th-D, la saison de confort adaptatif est supposée sans chauffage.

A noter que ces saisons sont définies indépendamment au niveau de chaque groupe (cf. Figure 7 pour le chauffage) puis concaténées pour les générateurs desservant plusieurs groupes (cf. Figure 8).

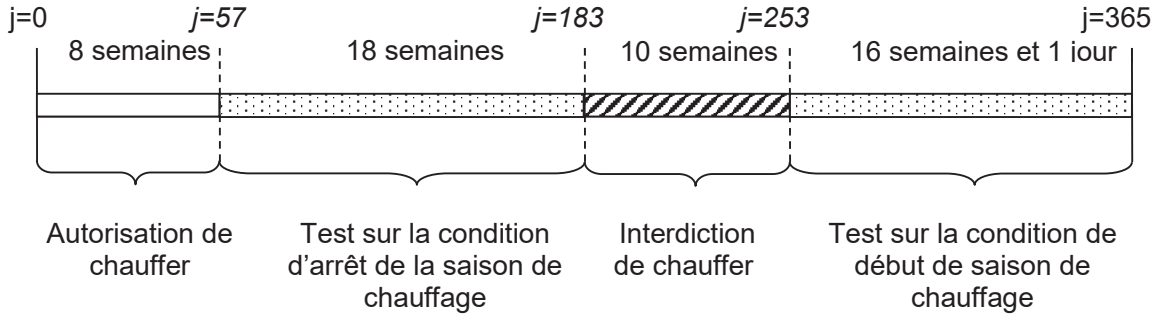


Figure 7- Illustration de la procédure de détermination des saisons au niveau d'un groupe

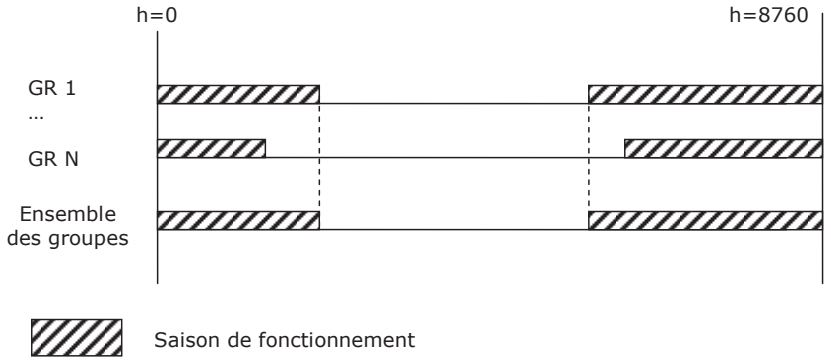


Figure 8 - Illustration de la procédure de détermination des saisons au niveau de la génération

Gestion des protections mobiles des parois vitrées et Gestion de la surventilation naturelle par ouverture des baies :

Pour ces gestions, sont définies quatre saisons sur la base des autorisations de fonctionnement des équipements énergétiques présentées précédemment :

1 – saison de chauffage (autorisation de chauffer uniquement)

2 – mi-saison (aucune autorisation en cours, ni chauffage ni refroidissement)

3 – saison de refroidissement (autorisation de refroidissement uniquement)

4 – saison mixte (autorisation de chauffage et de refroidissement

Saison de chauffe des générateurs	Oui	Non		Oui	
Saison de refroidissement des générateurs	Non		Oui		Non
Saisons pour la gestion des protections solaires mobiles et l'ouverture de baies	Chauffage	Mi-saison	Refroidissement	Mixte	Chauffage

Tableau 3 - concordance entre les saisons des équipements de génération et les saisons pour la gestion des protection solaires mobiles et l'ouverture des baies

Cela est valable pour les protections solaires mobiles des baies vitrées de l'ensemble du bâtiment (y compris celles des espaces tampons solarisés), ainsi que pour les algorithmes définissant les possibilités de surventilation par ouverture des baies (y compris celles des espaces tampons).

Pour ces gestions, les saisons définies ici ne sont par ailleurs qu'un élément parmi ceux rentrant en compte dans l'algorithme de gestion.

Saisonnalité de présence des feuilles pour les masques solaires :

On peut enfin noter que des valeurs conventionnelles de début et de fin de présence des feuilles sur les arbres sont définies.

1.4.2 CAS DU CALCUL ENVIRONNEMENTAL

Phases du cycle de vie – périmètre et temporalité

Comme indiqué au 1.2, le calcul de la performance environnementale est basé sur une analyse de cycle de vie (ACV).

Le cycle de vie d'un bâtiment est découpé en :

- Phase de Production
- Phase d'Edification
- Phase d'Exploitation , qui peut être séparée en « entretien et maintenance » d'une part et « opération» d'autre part
- Phase de Fin de vie
- Bénéfices et charges liés à la valorisation des produits en fin de vie et à l'export d'énergie, aussi appelé « Module D ».

Un découpage plus fin du cycle de vie consiste à le découper en modules (voir Tableau 4).

Note : Il est considéré que les modules B2 à B4 regroupent toutes les opérations de nettoyage, entretien et maintenance du bâtiment. Ils sont regroupés, avec le module B1, dans la sous-phase d'entretien/maintenance de la phase d'exploitation.

Phase	Temporalité	Module	Description simplifiée
Production	t=0	A1	Le module A1 couvre l'extraction et la production des matières premières utilisées pour la fabrication les composants du bâtiment
		A2	Le module A2 couvre le transport des matières premières utilisées dans les composants du bâtiment jusqu'au site de fabrication des composants
		A3	Le module A3 couvre la fabrication des composants du bâtiment (produits de construction et équipements techniques)
Edification	t=0	A4	Le module A4 couvre le transport des composants du site de fabrication jusqu'au chantier de construction
		A5	Le module A5 couvre le chantier de construction dont la mise en oeuvre des composants
Exploitation / Entretien et maintenance	t=1 à t=PER (PER années)	B1	Le module B1 couvre les impacts liés à l'utilisation des composants dans le bâtiment (hors usages de l'eau et de l'énergie)
		B2	Le module B2 couvre les opérations d'entretien du bâtiment (voir scénario conventionnel d'usage)
		B3	Le module B3 couvre les opérations de réparation du bâtiment (voir scénario conventionnel d'usage)
		B4	Le module B4 couvre les opérations de remplacement de composants du bâtiment (voir scénario conventionnel d'usage)
Exploitation / Opération	t=1 à t=PER (PER années)	B6	Le module B6 couvre les impacts liés aux consommations d'énergie dans le bâtiment en exploitation
		B7	Le module B7 couvre les impacts liés aux consommations et rejets d'eau dans le bâtiment en exploitation
Fin de vie	t=PER	C1	Le module C1 couvre le chantier de déconstruction (dépose de composants avant démolition) ou de démolition du bâtiment
		C2	Le module C2 couvre le transport des déchets du chantier de déconstruction/démolition soit vers un lieu de valorisation soit vers un lieu d'élimination
		C3	Le module C3 couvre la valorisation des déchets du chantier de déconstruction/démolition (réemploi, réutilisation, recyclage, valorisation énergétique)
		C4	Le module C4 couvre l'élimination des déchets du chantier de déconstruction/démolition (mise en décharge avec ou sans pré-traitement, incinération sans valorisation énergétique au sens de la réglementation sur les déchets)
Bénéfices et charges liés à la valorisation des produits en fin de vie et à l'export d'énergie (ou « module D »)	A chaque remplacement et t=PER	D	Le module D permet de comptabiliser les bénéfices et charges environnementaux liés à la valorisation des produits en fin de vie (recyclage, valorisation énergétique...) ainsi qu'à l'export d'énergie.

Tableau 4 – Découpage du cycle de vie du bâtiment en modules

2. LES DONNEES D'ENTREE DE LA METHODE

2.1 GENERALITES SUR LES DONNEES D'ENTREE

Les méthodes de calcul énergétique et de réalisation de l'analyse de cycle de vie distinguent quatre types de données d'entrée :

- Des données conventionnelles (voir 2.2)
- Des données d'entrée saisies par l'utilisateur (voir 2.3)
- Des données d'entrée spécifiques (voir 2.4), saisies à partir de données recueillies auprès de fabricants
- Des données génériques par défaut (voir 2.5)

La conformité aux règles du présent arrêté de toutes les données d'entrée du calcul réglementaire doit pouvoir être justifiée.

2.2 LES DONNEES CONVENTIONNELLES

Une donnée conventionnelle est un paramètre de modélisation d'utilisation obligatoire, non modifiable

2.2.1 LES DONNEES CONVENTIONNELLES UTILISEES POUR LE CALCUL ENERGETIQUE

Pour le calcul énergétique, les données climatiques et celles relatives à l'occupation et l'usage des bâtiments sont définies de façon conventionnelle

Ces différentes conventions ne sont pas adaptées à la prédiction des consommations énergétiques futures d'un bâtiment donné pour les années suivant sa mise en service. Ces données climatiques et ces conventions d'occupation et d'usage ont été définies de façon à approcher des conditions moyennes sur le segment de bâtiment visé, ou des conditions extrêmes concernant le calcul de confort d'été.

2.2.1.1 Les données météorologiques utilisées pour le calcul énergétique

Les variables climatiques prises en compte dans cette méthode de calcul sont les suivantes :

a. Le rayonnement solaire : il permet de calculer les apports de chaleur pour le bâti, ainsi que l'efficacité des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques spécifiques.
b. Le rayonnement lumineux : utilisé pour calculer l'éclairement naturel dans les locaux, il est décrit sous la même forme que le rayonnement solaire et à partir de celui-ci,
c. Le rayonnement froid vers la voûte céleste,
d. Les températures et humidité de l'air,
e. La vitesse du vent pour une altitude de 10 m en zone ouverte,
f. La température de l'eau froide du réseau.

Les fichiers représentent des années-type dont la constitution a été effectuée sur la base de fichiers annuels des données mesurées par Météo-France sur la période de janvier 2000 à décembre 2018.

En matière de segmentation géographique, il a été retenu 8 zones climatiques, en cohérence avec les exigences réglementaires, dont les stations de référence sont précisées sur la figure ci-après.



Figure 9 - Carte des zones climatiques de la réglementation

2.2.1.2 Les scénarii conventionnels utilisés pour le calcul énergétique

Les conditions d'occupation des bâtiments sont définies de façon conventionnelle puisqu'elles ne peuvent être vérifiées sur la base des caractéristiques du bâtiment et de ses équipements énergétiques.

Afin de se rapprocher des données « moyennes », la méthode de calcul réglementaire prend en compte la destination des locaux du bâtiment de manière générale (logement, enseignement, bureau…) et de manière plus précise au niveau des différents locaux (salle de réunion, circulations, etc.). Cela signifie que les scénarios conventionnels sont définis pour partie au niveau de la zone et pour partie au niveau du local.

Ces données sont décrites sous forme de scénarios temporels horaires. Elles représentent les usages et comportements moyens des occupants d'un bâtiment. L'unité de base est la semaine, avec des modifications liées aux périodes de vacances. Cette méthode de calcul prévoit par exemple pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs une absence des occupants pendant une semaine au mois de décembre.

Scénarios conventionnels définis au niveau de la zone :

Les scénarios conventionnels définis au niveau de la zone sont les suivants :

a. **L'occupation** : le scénario indique si la zone est occupée ou pas.
b. **Le chauffage et le refroidissement** : le scénario indique les températures de consigne en chauffage et en refroidissement, les périodes d'occupation ou d'inoccupation.
c. **La ventilation** : le scénario indique l'arrêt ou la mise en marche des systèmes spécifiques de ventilation conformément aux réglementations en vigueur pour les usages autres que d'habitation.
d. **L'éclairage :** le scénario indique la possibilité ou pas d'utilisation de l'éclairage artificiel. Il est basé sur les scénarios de présence en prenant en compte les périodes de sommeil.
e. **Les besoins d'eau chaude sanitaire :** le scénario indique la répartition en profils horaires du besoin hebdomadaire, ce dernier est exprimé en litres d'eau à 40 °C qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale
f. **Les scénarios de mobilité des escalators et des ascenseurs :** le scénario indique si l'équipement est mobile ou immobile durant l'heure considérée, puis le niveau de mobilité sur l'heure
g. **Les usages spécifiques de l'énergie :** le scénario indique la quantité et la répartition horaire de consommation électrique associées aux usages mobiliers dans le bâtiment. Ce scénario est cohérent avec celui des apports internes liés aux équipements mobiliers (cf. ci-dessous)

Scénarios conventionnels définis au niveau des locaux

Les scénarios conventionnels définis au niveau des locaux sont les suivants :

a. **Apports internes de chaleur** liés à la présence humaine, et aux équipements mobiliers : pour le premier point, le scénario est lié au scénario d'occupation et au nombre d'occupants. Pour le second, une différenciation est opérée selon que le fonctionnement de l'équipement est lié ou pas à la présence humaine. Ces apports internes interagissent avec les besoins de chaleur et de froid.
b. **Apports internes d'humidité** liés à la présence humaine ou aux équipements : le scénario est lié au scénario d'occupation et au nombre d'occupants.
   Le nombre d'occupants et les valeurs d'apport sont des données conventionnelles qui dépendent du type de zone.

2.2.1.3 Les autres conventions d'usage pour le calcul énergétique (gestion des protections mobiles, gestion des ouvertures des baies, gestion des débits d'air dans l'habitat)

Les scénarios de gestion des protections mobiles, d'ouverture des baies et des débits d'air dans l'habitat prennent en compte des possibilités de gestion manuelle (par l'utilisateur) ou automatique.

La gestion des protections mobiles

La méthode de calcul permet de prendre en compte pour les baies du bâtiment deux protections mobiles. La première peut être extérieure ou intérieure, et a une fonction de protection contre les surchauffes liées aux apports solaires, la seconde est par définition intérieure, et a une unique fonction d'anti-éblouissement.

Cette gestion a pour finalité de déterminer la part de surface de la baie qui est protégée par la protection solaire mobile extérieure. Le scénario de gestion varie selon le type d'utilisation des locaux et la période de l'année.

Les gestions conventionnelles sont également différenciées selon le mode de calcul :

- Pour la détermination des besoins bioclimatiques (Th-B) et des consommations énergétiques (modes Th-C),
- Pour la détermination du confort d'été ressenti par les occupants (mode Th-D).

Les finalités sont en effet différentes dans les deux cas.

La gestion des ouvertures des baies

A l'image de la gestion des protections solaires mobiles, l'ouverture des baies (lorsque celle-ci est permise), peut être réalisée de manière manuelle ou automatique. Cette ouverture est alors fonction des conditions climatiques intérieures et extérieures, ainsi que de l'exposition au bruit de la baie, qui peut inciter les occupants à limiter les ouvertures.

En gestion manuelle, les paramètres de gestion sont entièrement conventionnels.

Dans les bâtiments climatisés, la méthode de calcul ne prévoit aucune ouverture de baies pour le mode de calcul Th-C, celle-ci pouvant être incompatible avec le fonctionnement des systèmes de refroidissement. En revanche en mode de calcul Th-B, pour évaluer les besoins de froid, l'ouverture des baies pour surventilation est possible, sous respect de certaines conditions de température intérieure et extérieure.

L'ouverture des baies induit un débit d'air lié à cette ouverture, qui a donc un impact sur la température intérieure.

La gestion des débits de ventilation dans l'habitat

Dans l'habitat, l'occupant a en général la possibilité de passer en grand débit de ventilation en cuisine lors de la préparation des repas. Ce comportement est pris en compte dans cette méthode de calcul par une durée d'utilisation hebdomadaire conventionnelle de ce grand débit.

2.2.2 LES SCENARIOS ET DONNEES CONVENTIONNELS POUR LE CALCUL ENVIRONNEMENTAL

2.2.2.1 Scénarios et conventions

Conventions liées à la réglementation sur les déclarations environnementales des produits de construction et équipements techniques (composants)

La réglementation sur les déclarations environnementales des produits de construction et équipements techniques impose aux déclarants de données environnementales un certain nombre de conventions de calcul. Il a donc été décidé d'en appliquer certaines par cohérence à l'échelle du bâtiment. Ce paragraphe ne reprend que les conventions les plus pertinentes pour comprendre la méthode de calcul.

Pour le transport des composants des usines de fabrication vers le chantier (module A4), ce n'est pas la donnée spécifique au projet évalué qui est utilisée (car difficilement traçable si passage par un intermédiaire de distribution) mais une donnée moyenne (à la fois pour les moyens de transport et pour les distances).

Pour la mise en œuvre des composants (module A5), afin d'éviter les doubles comptages à l'échelle du bâtiment, seuls les consommables et opérations propres aux composants mis en oeuvre sont pris en compte dans les déclarations. La contribution chantier permet de couvrir les opérations et consommables communs à plusieurs composants (équipements lourds comme les grues, travaux de terrassement, passages de réseaux communs à plusieurs réseaux…).

Par simplification, les modules B2, B3, B4 et B5 sont souvent regroupés dans les déclarations environnementales. Les modules B6 et B7 doivent être déclarés séparément lorsqu'ils sont non nuls (cas de nombreux équipements techniques) et ne sont pas pris en compte dans le calcul de l'ACV du bâtiment. En effet, le calcul des modules B6 et B7 à l'échelle du bâtiment fait appel à des calculs spécifiques (calcul énergétique décrit par ailleurs par exemple) faisant appel à des scénarios d'usage spécifiques du bâtiment.

La fin de vie des composants doit être estimée en utilisant les scénarios de fin de vie contemporains. Par exemple, si un produit est aujourd'hui mis en décharge à 100% en fin de vie, même si on estime que les pratiques vont changer, c'est ce scénario de mise en décharge à 100% qui doit être utilisé dans la déclaration environnementale du produit.

Conventions à l'échelle du bâtiment

Dans sa vie « réelle », un bâtiment bénéficie de différentes opérations d'entretien, maintenance et réhabilitation pour maintenir ses performances, les améliorer, le remettre en conformité ou encore changer sa destination. Ces opérations conduisent souvent à prolonger la durée de vie du bâtiment ou de certaines parties de l'ouvrage (la structure notamment). Dans cette même « vie réelle », le bâtiment est soumis à des aléas conduisant à des dégradations et à des opérations d'entretien, maintenance et réhabilitation dédiées.

Par mesure de simplification, un scénario conventionnel d'usage du bâtiment est défini. Ce scénario définit :

- des usages et performances initiaux du bâtiment,
- leur maintien pendant la période d'étude de référence (les remplacements de composants en fin de vie avant la fin de la PER sont donc considérés réalisés à l'identique)
- l'estimation de la fin de vie du bâtiment (qui aura lieu dans plusieurs décennies) en utilisant les conditions actuelles de gestion des déchets de la fin de vie (voir ci-dessus les conventions sur les déclarations environnementales).

Le scénario conventionnel d'usage du bâtiment ne prévoit pas de réhabilitation du bâtiment. Par ailleurs, le scénario conventionnel d'usage du bâtiment ne prévoit la prise en compte d'aucun aléa. En conséquence, les opérations d'entretien/ maintenance/réparation liées à d'éventuelles dégradations volontaires, accidents (incendies, explosions,…), catastrophes naturelles (séismes, inondations, chutes d'arbres…) ne sont pas pris en compte dans la méthode.

Convention liée à l'utilisation de composants issus du réemploi ou de la réutilisation
Les composants (produits de construction ou équipements) issus du réemploi ou d'une opération de réutilisation (c'est-à-dire employés une nouvelle fois, pour un usage identique ou un nouvel usage, dans le même ou un autre bâtiment, sans retraitement hormis des opérations de reconditionnement, nettoyage ou réparation) sont considérés comme n'ayant aucun impact. Les valeurs des impacts pour tous les modules du cycle de vie sont donc nuls. Cependant, les impacts environnementaux des produits complémentaires nécessaires à la mise en oeuvre des composants issus du réemploi ou de la réutilisation doivent être comptabilisés.

2.2.2.2 Les données environnementales liées à la simplification des modèles

Ces données sont des données conventionnelles mises à disposition par le ministère en charge de la construction et utilisables uniquement dans les méthodes simplifiées. Ces données sont disponibles publiquement.

Il s'agit notamment des valeurs d'impacts forfaitaires pour les lots et sous lots de la contribution « composants ».

2.2.2.3 Les données environnementales sur les impacts des énergies et autres services

La mise à disposition des différents vecteurs énergétiques et leur utilisation dans le bâtiment ont des impacts environnementaux. Les données utilisées sont conventionnelles. Les impacts environnementaux des énergies sont fixés par le ministère en charge de l'énergie.

Pour les bâtiments reliés à un réseau de chaleur, les émissions de gaz à effet de serre liées à l'énergie consommée sont publiées par arrêté du ministre en charge de l'énergie.

Toutes ces données sont disponibles publiquement.

De même, un certain nombre de procédés et services utilisés dans le calcul des contributions sont traduits par des données conventionnelles, elles concernent notamment :

- les impacts des moyens de transport utilisés dans le contributeur chantier,
- les impacts de la mise à disposition de l'eau potable consommée par le bâtiment,
- les impacts du traitement des eaux usées rejetées par le bâtiment,
- les impacts du traitement des déchets calculés dans le contributeur chantier,
- les impacts des émissions de fluides frigorigènes.

2.3 CARACTERISATION DU BATIMENT ET DE SES EQUIPEMENTS, LES DONNEES D'ENTREE DE LA METHODE DE CALCUL

2.3.1 INTRODUCTION

La méthode de calcul énergétique, d'un point de vue informatique est structurée de la façon suivante :

a) Un cœur de calcul qui effectue les calculs annuels au pas de temps horaire pour déterminer les différents indicateurs réglementaires
b) Des pré processeurs utilisés en amont du cœur de calcul, et permettant d'alimenter les objets le composant,
c) Des post processeurs d'intégration et de traitement des résultats horaires.

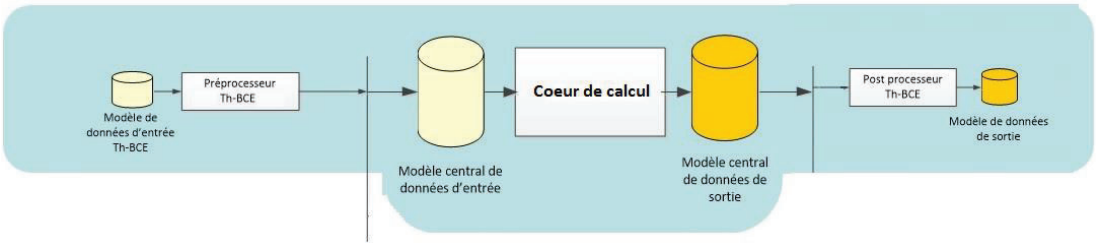


Figure 10 - Structuration de la méthode Th-BCE

Cette méthode de calcul utilise comme données d'entrée tous les éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements qui sont définis de façon opposable. Ces données d'entrée des éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements sont constituées de deux types de paramètres différents :

- Des paramètres dits intrinsèques qui correspondent aux caractéristiques techniques du composant,
- Des paramètres dits d'intégration, dépendant de la mise en œuvre du composant dans le projet étudié.

Par exemple, le coefficient U d'une baie est un paramètre intrinsèque alors que son orientation est un paramètre d'intégration.

Les éléments apportés après la réception du bâtiment ainsi que les paramètres indépendants du bâtiment intervenant dans la méthode de calcul sont définis de façon conventionnelle (voir paragraphe 2.2).

Pour toute valeur de caractéristique utilisée comme donnée d'entrée du calcul réglementaire, sa conformité aux règles du présent arrêté doit pouvoir être justifiée.

2.3.2 LA COMPOSITION PHYSIQUE DETAILLEE DU BATIMENT

Pour l'analyse de cycle de vie, le maître d'ouvrage doit renseigner tous les quantitatifs (métrés, quantités estimées) des produits et équipements utilisés dans le bâtiment ou sur la parcelle et entrant dans le périmètre de la méthode. Pour le calcul de la contribution composants, les produits et équipements doivent être affectés à un ou plusieurs lots et sous-lots (voir Tableau 5).

2.3.3 LA SURFACE DE REFERENCE

Certains calculs et l'expression de nombreux indicateurs requièrent l'utilisation de surfaces de référence.

S_{ref} correspond à la surface (quantité) de référence du bâtiment. Elle est une donnée nécessaire au calcul des performances énergétique et environnementale.

La surface de référence ne doit pas être confondue avec les autres surfaces pouvant être utilisées dans les algorithmes de calcul comme les surfaces de paroi opaques, les surfaces de baie…Ces dernières sont spécifiques à certains calculs et ne dépendent pas de la typologie du bâtiment étudié.

2.3.4 LE CLIMAT

Les données d'entrée pour le climat sont la zone climatique et l'altitude.

La donnée 'zone climatique' génère les données climatiques conventionnelles correspondant à l'année de référence qui lui est associée.

La donnée 'altitude' permet de corriger les données climatiques en fonction de celle-ci.

Lots	Sous-lots	Types de composants devant être intégrés à ce lot	Précisions
1. VRD (Voirie et Réseaux Divers)	1.1 Réseaux (extérieurs, jusqu'au domaine public)	Réseau gaz	y compris leur raccordement
		Réseau eau potable	y compris leur raccordement
		Réseau de chaleur ou de froid	y compris leur raccordement au réseau urbain
		Réseau électrique	y compris leur raccordement
			y compris les fourreaux
			hors raccordement des installations de production d'électricité sur site (voir lot 13)
		Réseau de télécommunications	y compris leur raccordement
			y compris les fourreaux
		Puits canadien, réseau de géothermie horizontale	
		Réseau d'évacuation et d'assainissement des eaux pluviales, eaux usées et eaux vannes	y compris leur raccordement
			y compris pompe de relevage des eaux usées, si nécessaire
	1.2 Stockage	Éléments pour le pompage d'eau, pour utilisation dans le bâtiment	s'il y a nécessité de pomper l'eau (nappe trop proche) afin de protéger les sous-sols
			y compris équipements hydrauliques, mécaniques et électriques des stations de pompage d'eau
		Système d'assainissement autonome	
	1.3 Aires de stationnement extérieures	Eléments de voirie pour le stationnement des véhicules à l'extérieur	y compris pour les deux-roues
2. Fondations et infrastructure	2.1 Fondations	Fondations des bâtiments	y compris béton de propreté, soubassement, longrines, hérisson, imperméabilisation, traitement anti-termite, drainage périphérique, étanchéité, semelles, pieux, micropieux, puits, murs de soutènement, palplanches, autres fondations spéciales, radiers, cuvelages, fosses, sondes et puits géothermiques, etc.)
			A noter : les volumes de terre excavés pour l'adaptation au sol, terrassements, fouilles sont comptabilisés dans la contribution Chantier
	2.2 Murs et structures enterrées (escalier de cave, parc de stationnement…)	Structure porteuse pour parcs de stationnement et locaux souterrains	y compris poteaux, poutres, dalles, etc. A noter: la dalle du 1er niveau du bâtiment, qui fait la séparation entre les locaux souterrains et la superstructuredu bâtiment, doit être saisie dans le lot 3, au même titre que les planchers intermédiaires ; il en est de même pour les éventuelles poutres en sous-face de cette dalle. A noter : les parcs de

			stationnement doivent être pris en compte qu'ils soient ou non intégrés au bâtiment
		Murs de soubassement, murs des sous-sols	
		Éléments permettant l'accès au bâtiment pour véhicules ou piétons	y compris rampes d'accès (pour véhicules), marches permettant l'accès au bâtiment, escaliers des sous-sols, parois de la cage d'ascenseur
			A noter : les escaliers de secours et les escaliers de façade font partie du lot 3
		Traitements hydrofuges, membranes enterrées	
	2.3 Parcs de stationnement en superstructure à l'exception des garages des maisons individuelles ou accolées	Structure porteuse pour parcs de stationnement couverts et non enterrés, ou semi-enterrés	y compris poteaux, poutres, dalles, etc.
			A noter : les composants des garages des maisons individuelles ou accolées font partie du lot 3 . A noter : les parcs de stationnement doivent être pris en compte qu'ils soient ou non intégrés au bâtiment
3. Superstructure – Maçonnerie	3.1 Éléments horizontaux - Planchers, dalles, balcons	Dallages, planchers, dalles, bacs acier pour planchers (plancher collaborant), dalles de compression, dalles de toiture-terrasse, balcons	y compris armatures si béton armé
			y compris dalle du rez-de-chaussée
			y compris rupteurs de ponts thermiques
	3.2 Éléments horizontaux - Poutres	Éléments porteurs horizontaux : poutres, linteaux, etc.	y compris armatures si béton armé
	3.3 Éléments verticaux - Façades	Murs extérieurs en élévation : maçonnerie, voiles, etc.	y compris armatures, chaînages, joints.
			Les façades porteuses sont à intégrer ici
	3.4 Éléments verticaux - Refends	Murs de refend	y compris armatures si béton armé
	3.5 Éléments verticaux - Poteaux	Poteaux	y compris armatures si béton armé
	3.6 Escaliers et rampes	Escaliers intérieurs et extérieurs, rampes d'accès piétons (accessibilité)	y compris armatures si béton armé. Les escaliers de secours - lourds (béton) ou légers (métal) - sont également à mettre ici
	3.7 Éléments d'isolation	Isolants, rupteurs thermiques et acoustiques	y compris isolation extérieure du plancher bas
	3.8 Maçonneries diverses	Appuis de baie	
4. Couverture – Etanchéité - Charpente - Zinguerie	4.1 Toitures terrasses	Dallage, revêtement, protection lourde, ombrière de toiture-terrasse	A noter : la toiture-terrasse peut être accessible ou non
			Hors dalle porteuse, qui est en lot 3
		Isolation et étanchéité de toiture ou de toiture-terrasse	y compris protection de cette étanchéité, pare-vapeur, peintures, etc.
		Complexe pour toiture végétalisée	
	4.2 Toitures en pente	Charpente	y compris éléments d'assemblage
		Étanchéité	

		Éléments de couverture pour toitures en pente	y compris tuiles, tôles, ardoises, etc.
	4.3 Éléments techniques de toiture	Cheminées, lanterneaux, exutoires, désenfumage, etc. en toiture	A noter : les fenêtres de toit font partie du lot 6
			A noter : les panneaux solaires thermique font partie du lot 8
			A noter : les panneaux solaires photovoltaïques font partie du lot 13
		Évacuation d'eau pluviale en limite de bâtiment : chéneaux et descentes de gouttière	
		Autres ouvrages de zinguerie	
5. Cloisonnement - Doublage - Plafonds suspendus - Menuiseries intérieures	5.1 Cloisons et portes intérieures	Portes: intérieures, palières, coupe-feu, en sous-sol, portes des garages individuels en sous-sol	y compris quincaillerie, serrurerie A noter : les peintures des portes font partie du lot 7
		Cloisons de distribution, fixes ou mobiles/amovibles	y compris ossature métallique s'il y a lieu
		Cloisonnement des gaines techniques, divers encloisonnements	y compris ossature métallique s'il y a lieu
			y compris isolant acoustique A noter : les revêtements font partie du lot 7
		Fenêtres ou vitres intérieures	
	5.2 Doublages mur, matériaux de protection, isolants et membranes	Enduits intérieurs et doublages sans isolant des murs et cloisons (plaques de plâtre)	
		Matériaux de protection contre l'incendie	y compris en sous-sol
		Isolation thermique intérieure (combles/toiture, murs extérieurs, planchers bas, dalles, etc.)	A noter : on considère ici l'isolation thermique intérieure, l'isolation extérieure étant en lot 6 (façades), lot 4 (toitures) ou lot 3 (superstructure)
			A noter : pour les éléments d'isolation répartie, les éléments ayant une fonction structurelle sont à comptabiliser dans le lot 3
		Pare vapeur, film étanchéité à l'air	
		Isolation acoustique (murs, cloisons, planchers)	pour l'isolement acoustique mais aussi la correction acoustique interne des espaces
	5.3 Plafonds suspendus	Plafonds suspendus et plafonds sous combles	y compris système de fixation / suspension, et remplissage du plénum si non pris en compte ailleurs (isolant thermique ou acoustique, protection au feu)
			y compris plafonds tendus.
	5.4 Planchers surélevés	Planchers surélevés sur dalles à plots	= faux-planchers (dans les bureaux par exemple, les salles informatiques)
	5.5 Menuiseries, Métalleries et Quincailleries	Coffres de volets roulants	y compris isolation thermique
		Placards préfabriqués ou menuisés	

		Garde-corps, main-courantes	équipant notamment les escaliers, ou les circulations
6. Façades et menuiseries extérieures	6.1 Revêtement, isolation et doublage extérieur	Isolation des murs extérieurs par l'extérieur (ITE)	y compris les protections, renforts et les enduits de façade qui vont avec
		Enduit extérieur	y compris crépis, enduits, etc.
		Façades légères (non porteuses)	y compris fixations, colles et mastics
		Bardages, parements de façade, résilles	y compris fixations, colles et mastics
		Pare-pluie	
		Peintures, lasures et vernis des revêtements	peinture d'éléments de façade (sous-face des balcons par exemple)
	6.2 Portes, fenêtres, fermetures, protections solaires	Fenêtres, portes-fenêtres, fenêtres de toit, baies vitrées fixes	y compris les vitrages associés
			y compris les vitrines des locaux commerciaux
		Fermetures	y compris volets battants, volets roulants, persiennes
		Protections solaires	y compris brise-soleil, brise-vue, stores, rideaux d'occultation
			qu'elles soient situés à l'extérieur ou à l'intérieur des baies vitrées
		Portes de garage, collectives ou individuelles, donnant sur l'extérieur	
		Portes d'entrée, portes de service sur locaux non chauffés, portes (véhicules et piétons) du parking souterrain, issues de secours	c'est-à-dire toute porte donnant sur l'extérieur, tous matériaux
		Peintures, lasures et vernis des menuiseries extérieures	
	6.3 Habillages et ossatures	Habillage des tableaux et voussures	
		Garde-corps, claustras, grilles et barreaux de sécurité	y compris habillage des balcons et terrasses en hauteur
		Vérandas, serres, couvertures vitrées d'atriums, coupoles…	ossature et matériaux de remplissage (verriers le plus souvent)
			toutes parties, ouvrantes ou non
		Peinture d'éléments extérieurs, lasures et vernis des habillages et des ossatures	notamment les éléments métalliques
			y compris protection anti-corrosion
7. Revêtements des sols, murs et plafonds - Chape -Peintures - Produits de décoration	7.1 Revêtement des sols	Chapes flottantes ou désolidarisées	A noter : l'isolation thermo-acoustique sous chape fait partie du lot 5
		Ragréages	
		Sous-couches acoustiques (résiliant sous revêtements)	
		Revêtements de sol souples	y compris colle
		Revêtements de sol durs	y compris colle, produits de scellement
		Revêtements de sol coulés, de type industriel, peints…	y compris les sols peints pour les parcs de stationnement souterrains, locaux techniques

		Plinthes, barres de seuils	
	7.2 Revêtement des murs et plafonds	Revêtement muraux (peinture murs intérieurs, parements divers, faïences murales, etc.)	y compris produits de mise en œuvre (colle, joints...)
			exemples de parements intérieurs : briquettes, lambris…
		Revêtements de plafond	y compris peintures, toiles de verre, etc.
	7.3 Éléments de décoration et revêtements des menuiseries	Lasures & vernis intérieurs	y compris peinture des portes et fenêtres
8. CVC (Chauffage – Ventilation – Refroidissement - eau chaude sanitaire)	8.1 Équipements de production (chaud/froid) [hors cogénération]	Chauffage et/ou rafraîchissement et/ou production d'eau chaude sanitaire	y compris chaudières gaz, fioul, biomasse ou pompes à chaleur, poêle à bois, cheminée, insert
			y compris éléments de régulation
		Production et stockage d'eau chaude sanitaire	y compris chauffe-eau thermodynamique, électrique, gaz ou chauffe-eau solaire individuel
			y compris éléments de régulation
		Production de froid	y compris groupe de production d'eau glacée
			Tour de refroidissement, aéroréfrigérants
			y compris éléments de régulation
		Autres équipements de production	y compris station, systèmes de récupération de chaleur, etc.
			y compris éléments de régulation
	8.2 Systèmes de cogénération	Cogénérateur	A noter : les impacts de ces éléments sont affectés au bâtiment au prorata de l'usage de l'énergie utilisée par celui-ci comme décrit plus loin dans la présente annexe.
	8. 3 Systèmes d'émission	Émetteurs à eau chaude	radiateur eau chaude
			y compris leurs auxiliaires (pompes, tuyauterie chaufferie, vase d'expansion, vannes, régulateur intégré, etc.)
		Émetteurs électriques	y compris convecteur, ventilo-convecteur, rayonnant
			y compris éléments de régulation
	8.4 Traitement de l'air et éléments de désenfumage	Traitement d'air	y compris centrale de traitement d'air, centrale double flux, filtres à air
		Caisson de ventilation	y compris VMC simple flux, VMC double flux, caisson de ventilation
		Diffusion d'air	y compris terminaux passifs, diffuseurs, entrées d'air, bouches d'extraction, grilles vers l'extérieur
		Désenfumage	y compris caisson de désenfumage seul
			Clapets coupe-feu
			Cartouches coupe-feu ou pare flamme
			Grilles ou volets de désenfumage
	8.5 Réseaux et conduits	Conduits de fumée	
		Réseau gaz intérieur	
		Conduits et accessoires de réseaux (pour ventilation, climatisation, chauffage)	réseau à considérer : entre la chaufferie ou les équipements de production et les émetteurs
			y compris conduits flexibles,

			rigides, coudes et accessoires
			y compris filtres, grilles, pièges à son, organes d'équilibrage, etc.
			y compris les canalisations liées aux systèmes de récupération de chaleur
			y compris calorifugeage des canalisations
	8.6 Stockage	Stockage de combustibles	y compris cuves, citernes, silos pour stockage de combustibles solides, liquides ou gazeux (fioul, GPL, granulés de bois, etc.)
	8.7 Fluides frigorigènes	Fluides frigorigènes liés aux systèmes énergétiques, non déjà inclus dans les calculs relatifs au sous-lot 8.1	y compris fluides frigorigènes nécessaires au fonctionnement des PAC / chauffe-eau / groupe de production d'eau glacée / tour de refroidissement
9. Installations sanitaires	9.1 Éléments sanitaires et robinetterie	Toilettes (ensembles cuvette et chasse), urinoirs, bidets	
		Receveurs de douches, baignoires	
		Lavabos, éviers, fontaines à eau	
		Robinetterie, boutons poussoirs, systèmes économiseurs d'eau	
		Habillage des douches et baignoires, produits d'étanchéité, meubles fixes, miroiterie	y compris portes et parois de cabine de douche,
			A noter : les faïences murales font partie des revêtements en lot 7
	9.2 Canalisations, réseaux et systèmes de traitement	Réseau intérieur eau chaude sanitaire et eau froide, calorifugeage éventuel	ECS et eau destinée à la consommation humaine
			A noter : le réseau d'eau chaude pour le réseau de chauffage fait partie du lot 8
		Réseau intérieur alimenté en eaux pluviales	dans le cas d'un bâtiment avec double réseau, pour l'alimentation des chasses de WC par exemple
		Canalisations d'évacuation des eaux usées et eaux vannes	jusqu'à la sortie du bâtiment (ensuite voir lot 1 VRD)
		Installation de traitement des eaux destinées à la consommation humaine	y compris adoucisseurs, traitements thermiques ou chimiques anti légionellose…
10. Réseaux d'énergie (courant fort)	10.1 Réseaux électriques	Fils et câbles électriques	
		Solutions pour cheminement des câbles	y compris protections, fourreaux, gaines, chemins de câbles, plinthes techniques, goulottes
		Réseaux basse tension dédiés à l'éclairage.	
	10.2 Ensemble de dispositifs pour la sécurité	Paratonnerre	
		Prise de terre et mises à la terre	
	10.3 Éclairage intérieur	Éclairage intérieur général	hors éclairage de sécurité (cf. lot 11)
		Éclairage intérieur secondaire, d'ambiance et d'appoint	y compris systèmes de contrôle et de régulation de l'éclairage
	10.4 Éclairage	Éclairage d'extérieur	y compris lampadaires, hublots,

	extérieur sur le bâtiment	général	balises, etc.
			y compris systèmes de contrôle et de régulation de l'éclairage
		Éclairage d'extérieur architectural et décoratif	
	10.5 Systèmes d'automatisation et de contrôle	Équipements pour la gestion d'énergie (éclairage, chauffage, ECS, stores et volets / GTC et GTB)	appareils de contrôle-commande, réseaux, jusqu'au superviseur
		Motorisation des portes et volets	
	10.6 Tableaux et appareillages	Transformateur électrique	
		Installations et appareillages électriques pour distribution d'énergie électrique	y compris tableaux et armoires
11. Réseaux de communication (courant faible)	11.1 Réseaux électriques et de communications	Fils et câbles de télécommunications	
		Solutions pour cheminement des câbles	
	11.2 Systèmes de sécurité (personnes et bien)	Système de détection d'intrusion	y compris en sous-sol
		Système de contrôle d'accès	y compris en sous-sol
		Système de vidéosurveillance	y compris en sous-sol
		Système d'éclairage de sécurité	y compris en sous-sol
		Système de sécurité incendie	y compris en sous-sol
	11.3 Installations techniques et appareillages	Installations et appareillages pour réseaux de communication (téléphone, informatique, internet…) filaires ou sans fil	y compris tableaux et armoires
12. Appareils élévateurs et autres équipements de transport intérieur		Ascenseurs, monte-charges	y compris tous leurs auxiliaires (machinerie, sécurité)
		Escaliers mécaniques	y compris tous leurs auxiliaires (machinerie, sécurité)
		Nacelles de nettoyage	y compris tous leurs auxiliaires (machinerie, sécurité)
13. Équipement de production locale d'électricité		Installation associée au bâtiment, dédiée à la production d'électricité	y compris panneaux, onduleur, étanchéité, câbles électriques et raccordement au réseau …
			y compris les supports de fixation
			A noter : les impacts de ces éléments sont affectés au bâtiment au prorata de l'usage de l'énergie utilisée par celui-ci comme décrit plus loin dans la présente annexe.

Tableau 5 – Description de la composition physique du bâtiment en lots et sous lots

Récupération et stockage des eaux pluviales	y compris structures enterrées ou semi-enterrées telles que bassins de rétention d'eaux pluviales , bassin d'orage, cuves, pompes, canalisations

Éléments pour le pompage d'eau, pour utilisation sur parcelle	y compris équipements hydrauliques, mécaniques et électriques des stations de pompage d'eau
Système de pré-traitement des eaux usées sur site	y compris séparateurs à hydrocarbures
Voie d'accès (sur parcelle)	y compris voies d'accès pour PL, voitures, vélos, chemins piétonniers, etc.
	y compris sous-couches, revêtements, bordures, trottoirs
Autres revêtements extérieurs	y compris sol pour aire de jeu, dallage sur plots, platelage bois, etc.
Ouvrages de soutènement des sols sur la parcelle	y compris murs de soutènement, tirants d'ancrage, etc.
Aménagement paysager : Terrasses et petits murets	petits ouvrages de maçonnerie divers (y compris dalle coulée, dallages, etc)
	hors éléments de clôture de la parcelle
Éléments de clôture de la parcelle	en principe en limite de parcelle, mais pas exclusivement
	y compris grilles, garde-corps, claustras, portillons, portails, murs et murets
Éclairage d'extérieur général sur parcelle	y compris lampadaires, hublots, balises, etc.
	y compris systèmes de contrôle et de régulation de l'éclairage
Éclairage d'extérieur architectural et décoratif;	

Tableau 6 - Description de la composition physique de la parcelle

2.3.5 L'ENVIRONNEMENT PROCHE

La caractérisation de l'environnement proche du bâtiment se fait à travers la description des masques architecturaux ou lointains.
Pour la prise en compte des masques, la méthode de calcul distingue les masques lointains (définis par une hauteur de masque par tranche azimutale, ou par un profil de type rue), les masques végétaux et les masques proches horizontaux et verticaux (profondeur du masque, distance entre la paroi et le masque, hauteur du masque), et distingue donc leurs données d'entrée.

Quelques éléments sont fournis ci-dessous :

- masque lointain défini par tranches azimutales :

- masque lointain constitué d'arbres à feuilles caduques
- masque lointain de type plan vertical éloigné, caractérisé par l'angle sous lequel le masque est vu
- masques proches verticaux droite et/ ou gauche, considérés comme infinis, caractérisés par leur débord et leur distance à la paroi étudiée
- masque proche horizontal considéré comme infini, caractérisé par son débord et sa distance à la paroi étudiée.

2.3.6 LES SCENARIOS LIES A L'OCCUPATION DES LOCAUX

L'organisation interne du bâtiment permet de spécifier le type et la surface des zones et des locaux.

Pour les scénarios liés à l'occupation des locaux, les données d'entrée sont le type de zone.

Les scénarios conventionnels d'occupation et d'usage sont alors générés au niveau de la zone et également au niveau des locaux du groupe.

2.3.7 L'ENVELOPPE DU BATIMENT

Pour les parois (opaques ou vitrées), et les ponts thermiques induits, qui constituent l'enveloppe du bâtiment, les données d'entrée concernent :

- Les caractéristiques dimensionnelles et d'implantation (surface ou longueur, orientation, inclinaison)
- Les caractéristiques thermiques et énergétiques : coefficient de transmission thermique, facteur solaire
- Les caractéristiques lumineuses : transmission solaire et transmission lumineuse (uniquement pour les baies)
- L'ouverture des baies et la fermeture des protections mobiles pour le confort d'été (manuelle ou automatique)

Les données d'entrée sont, pour certaines des caractéristiques physiques ci-dessus, définies dans les règles Th-Bat (annexe IV du présent arrêté).

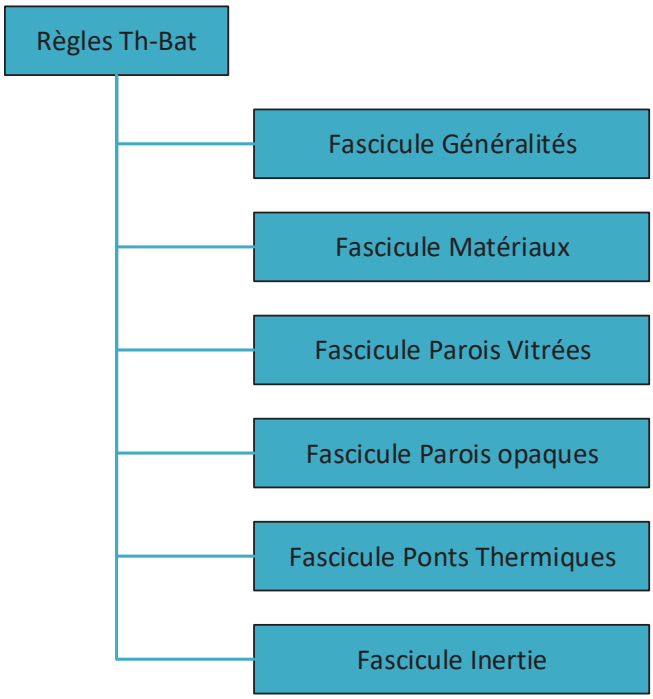


Figure 11 - Organisation des règles Th-Bat

La perméabilité est décrite par le débit d'air traversant l'enveloppe sous une différence de pression de 4 Pa par m² de paroi.

2.3.8 L'INERTIE THERMIQUE

Trois types d'inertie thermique doivent être décrites pour le calcul énergétique, chacune ayant un impact propre sur la réponse du bâtiment aux sollicitations extérieures :

- **l'inertie quotidienne** pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement en saison chaude ainsi que pour caractériser le taux de récupération des apports de chaleur en hiver (période de 24 h) ;
- **l'inertie séquentielle** pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température. Elle permet la prise en compte de l'inertie lors des séquences de chaleur en été. L'onde de température extérieure prise en compte de manière conventionnelle a une période de 14 jours ;
- **l'inertie annuelle** pour caractériser l'amortissement de l'onde annuelle de température (période de 365 jours).

Ces inerties sont caractérisées par des classes (pouvant aller de Très Légère à Très Lourde), qui doivent être déterminées conformément aux règles Th-Bat (Fascicule Inertie), par une méthode soit forfaitaire, soit à point permettant une approche plus fine en fonction des caractéristiques des parois intérieures et extérieures du local.

Il est également possible de caractériser directement l'inertie à partir des coefficients de l'inertie thermique :

- C_{m_surf}: Capacité thermique ramenée à la surface utile du bâtiment considéré.
- A_{m_surf}: Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré

Dans le cas de la saisie d'une classe d'inertie, à chacune est alors associée une valeur conventionnelle pour A_{m_surf} et pour C_{m_surf},

2.3.9 LE DEPLACEMENT DES OCCUPANTS A L'INTERIEUR DU BATIMENT

Les éléments visés ici concernent essentiellement les déplacements des occupants à l'intérieur du bâtiment qui entraînent des consommations d'énergie. Sont pris en compte les ascenseurs et les escalators présents dans le bâtiment., ainsi que les consommations de ventilation et d'éclairage des parkings associés au bâtiment.

Les données d'entrée regroupent :

- Des éléments de description intrinsèques aux matériels (type d'appareil, masse utile, vitesse nominale, ...)
- Des éléments de description précisant l'intégration dans le bâtiment objet de l'étude (nombre d'étages desservis, hauteur de desserte, zones desservies, calendrier d'occupation, puissance d'éclairage installée…)

2.3.10 LA VENTILATION

Pour chacun des systèmes énergétiques (chauffage, refroidissement, ventilation, eau chaude sanitaire, éclairage) cette méthode de calcul distingue les trois niveaux suivants :

1) **L'émission** correspondant à la satisfaction du besoin de l'occupant : chaleur, froid, débits (soufflés et/ou extraits), eau chaude sanitaire, lumière artificielle,

2) **La distribution** correspondant aux réseaux alimentant les émetteurs,

3) **La génération**, correspondant à l'alimentation énergétique des réseaux de distribution.

Les systèmes de ventilation sont décrits depuis l'entrée de l'air dans le bâtiment (via des entrées d'air dédiées ou par les défauts d'étanchéité ou encore les baies vitrées) en passant par les bouches de reprise, les réseaux aérauliques de distribution, et les centrales de traitement d'air.

Selon le principe défini ci-dessus, les "émetteurs" sont les bouches, ou équivalents, connectés aux débits requis (fournis ou extraits) pour le groupe. Les entrées d'air présentes en façade du bâtiment sont caractérisées par leur module, et la variation de celui-ci en fonction des différences de pression entre l'intérieur du bâtiment et l'extérieur le cas échéant.

Les "réseaux de distribution" sont caractérisés par leurs pertes aérauliques (fuites), et par leur étanchéité à l'air.

Les "générateurs" sont les moteurs : extracteurs, centrales de traitement d'air, dispositifs d'aspiration statique ou hybride, caractérisés par leur puissance absorbée.

Cette méthode de calcul intègre différents systèmes de ventilation spécifique, que ce soit pour l'hygiène ou le confort thermique. Sont ainsi intégrés les systèmes de ventilation simple ou double flux, ainsi que les systèmes dits à débit constant (DAC) ou variable (DAV) permettant également le traitement de l'ambiance.

En complément, les caractéristiques des autres éléments composant la centrale sont demandées (échangeurs, batteries chaudes ou froides, recyclage, etc.), ainsi que les paramètres nécessaires à la régulation de la ventilation (températures autorisant le by-passage par exemple).

2.3.11 LE CHAUFFAGE ET LE REFROIDISSEMENT

L'émission du chauffage et/ou du refroidissement :

Chaque émetteur présent dans un groupe est caractérisé par :

- Sa fonction (chauffage ou refroidissement),
- Son ratio d'émission (%) par rapport au groupe (basé sur la surface relative desservie mais aussi sur une notion d'utilisation partielle dans le temps lorsque plusieurs émetteurs cohabitent),
- Les parts convective et radiative (%) de l'émission
- Sa variation spatiale (K) qui est la différence entre la température dans la zone d'occupation et la température moyenne du local. Elle est représentative des phénomènes de stratification, elle dépend de la classe de l'émetteur utilisé et de la hauteur sous plafond du local desservi.
- Sa variation temporelle (K) exprimant la différence entre la température moyenne de la zone d'occupation et la température de consigne. Elle est représentative de la précision de régulation dans le temps de l'émetteur.
- La présence ou non d'une détection de présence par pièce
- Les éventuelles pertes au dos des émetteurs intégrés aux parois

La distribution du chauffage et/ou du refroidissement

La distribution est séparée en une part secondaire et une part primaire pouvant présenter des taux de pertes récupérables différentes. Les caractéristiques principales d'un réseau sont :

- Ses pertes (en W/K), liées aux caractéristiques d'isolation, de dimension, de localisation (volume chauffé ou non),
- Sa température de distribution,
- Les caractéristiques de puissance absorbée de régulation des auxiliaires de distribution.

La génération du chauffage et/ou du refroidissement

La génération regroupe l'ensemble des dispositifs de stockage, de génération et de composants amont à la génération (énergie renouvelable, tours de refroidissement, boucle primaire, …). Les systèmes de génération peuvent être constitués d'un ou de plusieurs générateurs, et alimenter un ou plusieurs bâtiments.

Compte tenu de la multiplicité des générateurs, il n'est pas possible de définir une liste exhaustive des données d'entrée de la méthode. On peut cependant retenir les points suivants :

- Fonction du générateur (chauffage, refroidissement, …)
- Caractéristiques intrinsèques du générateur : puissance nominale et efficacité énergétique.
- Caractéristiques de gestion régulation de la génération (limites de température de fonctionnement, régulation sur une température de distribution fixe ou moyenne, …)
- Caractéristiques de puissance absorbée et de régulation des auxiliaires

2.3.12 L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Emetteurs

Les émetteurs sont les dispositifs finaux de fourniture d'eau chaude sanitaire (robinets, mitigeurs) qui traduisent la transformation du besoin d'eau chaude sanitaire à une demande de couple quantité - température.

Les données d'entrée sont alors :

- les types d'appareil sanitaire installés
- la part des besoins d'eau chaude sanitaire assuré par les différents types d'émetteur

Génération et distribution

La caractérisation du système de production et de distribution de l'ECS est identique aux systèmes de chauffage et de refroidissement.

Les ballons de stockage

Les ballons de stockage sont caractérisés par :

- Leurs caractéristiques dimensionnelles (volume)
- Les pertes thermiques associées à leur fonctionnement fonction du niveau d'isolation du stockage et de la température de stockage
- La gestion associée aux générateurs assurant la production d'eau chaude

Les systèmes de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire peuvent être couplés à un système d'appoint, qui est alors être pris en compte conformément à la présente méthode. Ils peuvent également être couplés à un système ne produisant de la chaleur qu'en « secours », qui ne sont alors pas pris en compte dans la présente méthode. Les systèmes de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire considérés comme du secours au sens du présent arrêté sont des systèmes qui ne sont pas nécessaires au bon fonctionnement du chauffage ou de la production d'eau chaude sanitaire en conditions normales d'utilisation, pour lesquels toute mise en fonctionnement ne peut être réalisée que par une action manuelle des occupants, à proximité immédiate du système de chauffage et qui sont automatiquement mis à l'arrêt au plus tard 12H après la dernière action manuelle.

2.3.13 L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL

Le but de la méthode de calcul est ici de permettre la prise en compte des consommations liée aux différents systèmes d'éclairage artificiels implantés dans les locaux du bâtiment soumis à la réglementation thermique (y compris l'éclairage des parties communes des logements collectifs de manière entièrement conventionnelle).

Il est ici fait référence à l'éclairage dit immobilier (éclairage général et opposable) mais l'éclairage dit mobilier (apporté après construction) peut être pris en compte si sa présence est jugée nécessaire compte tenu de la puissance et de l'efficacité lumineuse de l'éclairage immobilier.

Afin de permettre la prise en compte de différents modes de gestion et d'accès à l'éclairage naturel, la description des installations d'éclairage est faite selon une notion de local qui lui est propre (espaces ayant des caractéristiques d'éclairage naturel communes), différente de la notion de local lié aux scénarii d'occupation (espaces ayant des caractéristiques d'occupation communes).

Les données d'entrée concernent alors :

- La puissance installée pour l'éclairage des locaux

On distingue ici deux puissances : P_{ecl_tot} est la puissance surfacique installée pour l'éclairage intérieur des locaux et P_{ecl_aux} est la puissance surfacique des appareillages et des périphériques de gestion intégrés dans les luminaires ou associés à ces derniers (détecteurs de présence par exemple), lorsque les lampes sont éteintes.

- La part des locaux ayant accès à l'éclairage naturel.

- Les caractéristiques des systèmes de gestion de l'éclairage (type gestion de l'allumage et de l'extinction).

Il est à noter que le système d'éclairage (puissance installée, gestion) est conventionnel pour les bâtiments à usage d'habitation (maisons individuelles ou accolées et logements collectifs).

2.3.14 LA PRODUCTION D'ELECTRICITE

La production locale d'électricité dans la méthode de calcul peut être réalisée par une production à base de capteurs photovoltaïques et/ou par un appareil de micro-cogénération.

Concernant la micro-cogénération, elle est similaire sur de nombreux points aux autres générateurs de chaleur. On retrouve donc des données d'entrée similaires, notamment :

- Fonction du générateur (chauffage, eau chaude sanitaire)
- Type de combustible (fossile, biomasse) et de micro-cogénérateur (combustion interne, stirling, micro turbine)
- Caractéristiques intrinsèques du générateur : puissance nominale et efficacité énergétique des productions thermiques et électriques.
- Caractéristiques de gestion régulation de la génération (limites de température de fonctionnement, régulation sur une température de distribution fixe ou moyenne, …)
- Caractéristiques de puissance absorbée des auxiliaires.

La modélisation de la production d'électricité d'origine photovoltaïque nécessite de connaitre les caractéristiques des modules photovoltaïques et de l'onduleur associé :

- Les caractéristiques technologiques des modules (type de technologie)
- Les propriétés électriques des modules (puissance crête nominale, …)
- Les caractéristiques d'implantation (orientation, inclinaison, surface)
- Les caractéristiques de l'onduleur (rendement, puissance de sortie)

2.3.15 DONNEES D'ENTREE DE L'ACV POUR LES CONTRIBUTIONS CHANTIER ET EAU

Pour le calcul de la contribution aux impacts du chantier de construction, l'utilisateur de la méthode doit renseigner quelques paramètres relatifs au chantier. La liste de ces paramètres est détaillée dans la description de la méthode de calcul de cette contribution (voir 4.5).

Pour le calcul de la contribution aux impacts des consommations et rejets d'eau, l'utilisateur doit aussi renseigner quelques paramètres supplémentaires pour décrire les équipements consommateurs d'eau et les scénarios d'usage de l'eau de pluie, potentiellement, collectée. La liste de ces paramètres est détaillée dans la description de la méthode de calcul de cette contribution (voir 4.4).

2.4 LES DONNEES D'ENTREE SPECIFIQUES

2.4.1 LES DONNEES SPECIFIQUES DU CALCUL ENERGETIQUE

Les données spécifiques correspondent à des caractéristiques des produits de construction ou des équipements énergétiques obtenues à partir de données fournies par leurs fabricants.

Pour certaines de ces données d'entrée, on fait la distinction sur son statut entre :

- Une donnée certifiée (la valeur utilisée dans le calcul est la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation)
- Une donnée justifiée (par un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation)
- Une donnée déclarée

Selon le statut de la donnée d'entrée, celle-ci est utilisée dans le calcul sans modification (valeur certifiée) ou avec une pénalisation plus ou moins importante (valeurs justifiées ou déclarées). Les données concernées par ce statut et les pénalisations éventuellement appliquées sont précisées dans la méthode de calcul.

2.4.2 LES DONNEES ENVIRONNEMENTALES SPECIFIQUES SUR LES PRODUITS DE CONSTRUCTION ET LES EQUIPEMENTS

Pour les produits de construction et les équipements techniques du bâtiment (composants), les données environnementales spécifiques qui peuvent être utilisées pour l'évaluation du bâtiment sont définies à la section 6 de la section 4 du chapitre Ier du titre Ier du livre I du code de la construction et de l'habitation.

2.5 LES DONNEES PAR DEFAUT

Une donnée par défaut est une donnée utilisée à défaut de pouvoir utiliser une donnée spécifique au produit ou équipement utilisé dans le bâtiment.

2.5.1 POUR LE CALCUL ENERGETIQUE

Les valeurs par défaut mises à disposition pour le calcul énergétique sont fournies dans la méthode de calcul Th BCE et sont alors utilisables sans justification, pour le paramètre correspondant.

2.5.2 POUR LE CALCUL ENVIRONNEMENTAL

Les données environnementales par défaut (DED) et leurs principes d'élaboration sont disponibles publiquement.

2.6 PRIORITE D'USAGE DES DONNEES ENVIRONNEMENTALES

Comme expliqué précédemment, lorsque la méthode prévoit l'usage d'une donnée conventionnelle, l'usage de cette donnée est obligatoire.

Lorsqu'il existe une donnée spécifique pour une donnée d'entrée du calcul celle-ci doit être préférée à une donnée par défaut. Dans ce cadre, il est autorisé d'utiliser une donnée spécifique majorante pour couvrir un composant de la même gamme pour lequel une donnée spécifique ne serait pas disponible. Par exemple, si une donnée spécifique existe pour un panneau d'épaisseur 15mm, elle peut être utilisée pour le même panneau d'épaisseur 12mm. Par contre, elle ne peut pas être utilisée pour un panneau de 16mm.

Enfin, en absence de donnée spécifique une donnée par défaut doit être utilisée.

3. CALCUL DES DIFFERENTS POSTES DE CONSOMMATION ET PRODUCTION D'ENERGIE

3.1 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE ET LE REFROIDISSEMENT

La consommation d'énergie pour le chauffage et le refroidissement est obtenue par le calcul du rapport entre :

- L'énergie nécessaire aux bornes de la production pour le chauffage respectivement le refroidissement

Et

- L'efficacité du système de production de l'énergie pour le service considéré.

On va détailler ces éléments ci-après. Le schéma ci-dessous donne une idée générale de l'architecture de calcul des systèmes énergétiques :

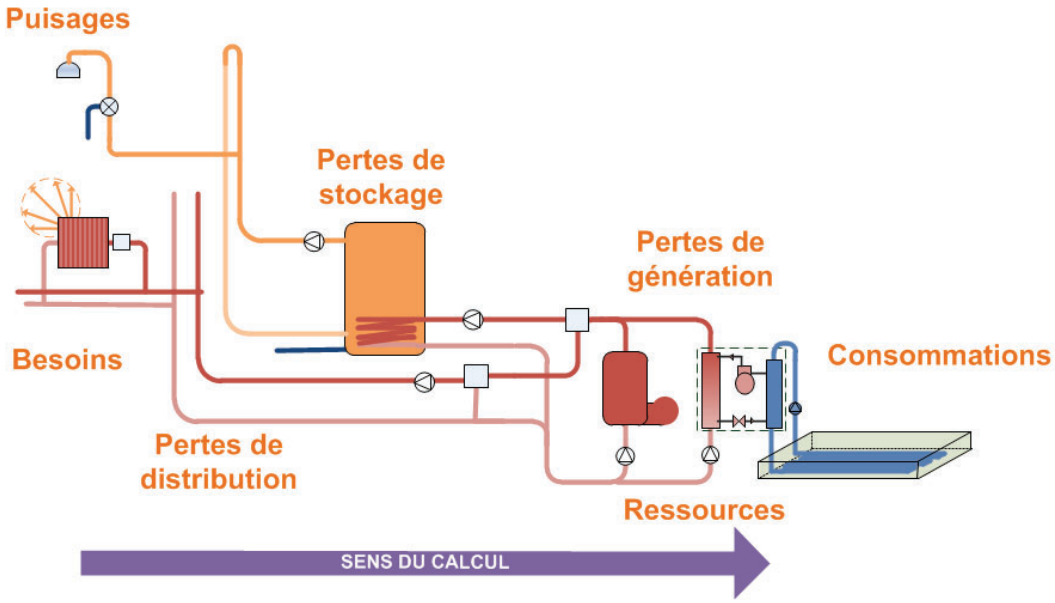


Figure 12 – Architecture des calculs pour les systèmes énergétiques (chauffage, refroidissement, ECS)

3.1.1 ENERGIE NECESSAIRE AUX BORNES DE LA PRODUCTION POUR LE CHAUFFAGE ET LE REFROIDISSEMENT

Cette partie traite du chauffage, les mêmes principes et calculs s'appliquent au refroidissement

L'énergie nécessaire aux bornes de la production pour le chauffage est la somme de :

- L'énergie à fournir par l'émetteur de chaleur pour satisfaire les besoins de chauffage, augmentée des pertes au dos des émetteurs de chauffage.
- Des pertes brutes de distribution du système de chauffage
- Des éventuels besoins liés au préchauffage de l'air utilisé par les centrales de traitement d'air

3.1.1.1 Energie à fournir par l'émetteur pour satisfaire les besoins de chauffage

Pour ce calcul, les éléments suivants sont pris en compte :

- le climat extérieur
- les scénarios d'occupation du local
- la température de consigne conventionnelle du local
- les caractéristiques des parois composant le local
- les débits de renouvellement d'air
- les apports gratuits : apports solaires et apports internes
- des caractéristiques de l'émission de chaleur ou de froid (variations spatio-temporelles et programmation)

La puissance requise par l'émetteur est calculée à partir des températures intérieures du local et de la droite de comportement thermique

Phase 1 : Calcul des températures intérieures

Le calcul des températures intérieures ; température de l'air, température radiante moyenne et température de masse est basé sur un modèle thermique dynamique au pas de temps horaire.

Le modèle thermique est fondé sur les simplifications du transfert de chaleur entre les environnements intérieur et extérieur. Ce calcul se fait en quatre étapes :

Etape 1 : calcul des coefficients de transfert thermiques, de la capacité thermique quotidienne et de la surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance :

- Facteur de transmission thermique dû au renouvellement d'air : son calcul prend en compte les débits de renouvellement d'air et l'humidité spécifique équivalente de l'air

  Le calcul des débits de renouvellement d'air ; débits entrants et débits extraits, se fait à l'aide d'un modèle aéraulique qui prend en compte pour un local donné les différentes sources d'entrée d'air : système de ventilation spécifique, débits d'air à travers l'enveloppe selon son étanchéité, débits d'air par ouverture de fenêtres, débits d'air en provenance d'autres groupes, etc. Le modèle aéraulique repose sur la modélisation simplifiée de la norme EU EN NF 15241.

- Facteur de transmission thermique dû aux échanges internes par convection et rayonnement
- Facteur de transmission thermique global pour les baies entre les environnements intérieurs et extérieurs
- Facteur de transmission thermique entre les surfaces internes et l'air intérieur
- Facteur de transmission entre l'environnement extérieur et la surface intérieure des parois opaques
- Capacité thermique déterminée selon la méthode décrite dans les règles Th-Bât dans leur fascicule Inertie).
- Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance

Étape 2 : calcul des températures extérieures équivalentes pour la prise en compte de l'élévation de la température extérieure due au rayonnement solaire sur les composants transparents et opaques de l'enveloppe du bâtiment.

Étape 3 : calcul des flux de chaleurs internes

- Flux de chaleur dû aux sources internes et aux apports de chaleur convectifs dus à la lame d'air intérieure ventilée du vitrage

- Flux de chaleur radiatif dû aux sources internes et au rayonnement solaire direct
- Flux de chaleur convectif dû aux sources internes et au rayonnement solaire direct

Les sources internes sont les apports conventionnels de chaleur liés aux occupants et aux équipements énergétiques et les apports calculés par la méthode, dus à l'éclairage artificiel et aux pertes récupérés des systèmes de distribution et de génération de chauffage.

Étape 4 : calcul des températures intérieures **:**

À cette étape, la résolution des équations du modèle thermique permet le calcul des températures intérieures.

Phase 2 : Calcul de l'énergie à fournir par l'émetteur pour satisfaire les besoins de chauffage et de refroidissement : puissance requise par l'émetteur de chaleur

Le modèle thermique suppose qu'il existe une relation linéaire entre la puissance émise par l'émetteur et la température moyenne mesurée par la sonde du système de régulation terminale.

On considère deux points de fonctionnement :

- Point de fonctionnement avec évolution libre : pas de flux de chaleur émis par les émetteurs de chauffage et refroidissement,
- Point de fonctionnement avec un flux de chaleur émis par l'émetteur de 10 W/m² de surface de plancher utile,

Le modèle thermique permet le calcul des températures intérieures pour ces deux points de fonctionnement. La droite du comportement thermique est alors définie par interpolation entre ces deux points.

Cette droite permet le calcul de la puissance requise par l'émetteur correspondant à une température de consigne et des caractéristiques de l'émetteur données. Ces caractéristiques intègrent des paramètres relatifs à la qualité de l'émission (variations au sein des locaux de la température ambiante) et la précision de régulation (variations dans le temps de la température ambiante), ainsi que les parts convective et radiative de la puissance échangée avec le local.

L'énergie à fournir par l'émetteur pour satisfaire les besoins de chauffage et de refroidissement tient compte des pertes au dos de l'émetteur, lorsque celui-ci est intégré à la paroi extérieure du bâtiment.

3.1.1.2 Pertes thermiques brutes de distribution du système de chauffage et de refroidissement

Dans le cas d'une installation de chauffage et refroidissement à eau, les pertes thermiques brutes du réseau de distribution sont calculées à partir de l'écart entre la température moyenne de l'eau dans les canalisations et la température ambiante, lors des périodes où le chauffage et le refroidissement sont activés.

La température moyenne d'eau est déterminée à partir des fonctions de régulation présentes sur l'installation de chauffage et refroidissement (température de départ variable ou non, débit d'eau variable ou non).

Ces pertes thermiques sont distinguées en deux composants selon qu'elles sont émises dans les espaces chauffés/refroidis ou dans les espaces non chauffés/non-refroidis.

Dans les espaces chauffés/refroidis, une partie des pertes de distribution est récupérée sous forme de chaleur, elle est prise en compte dans le modèle de comportement thermique.

Note : la régulation de la distribution inclut également la gestion des circulateurs, ce qui impacte leur consommation d'énergie : circulateurs à vitesse constante, à vitesse variable avec maintien de la pression différentielle constante ou à vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau.

3.1.2 EFFICACITE DES SYSTEMES DE PRODUCTION DE CHALEUR ET DE REFROIDISSEMENT

L'ultime étape du calcul des consommations consiste à modéliser l'efficacité des générateurs de chaleur et de froid. Pour cela, on distingue les générateurs par type, selon la liste suivante :

Pour le chauffage :

- Générateurs directs à effet joule
- Générateurs à combustion à combustible gazeux, liquide ou solide,
- Systèmes de cogénération,
- Systèmes solaires thermique
- Poêles et inserts
- Générateurs thermodynamiques à compression électrique
- Générateurs thermodynamiques à absorption au gaz naturel,
- Sous-stations de réseau de chaleur

Pour le refroidissement :

- Groupe frigorifique thermodynamique à compression électrique,
- Groupe frigorifique thermodynamique à absorption au gaz naturel,
- Sous-stations de réseau de froid,

Certains systèmes de production de chaleur assurent également la production d'ECS.

D'une manière générale, le calcul de l'efficacité des générateurs se fait de manière dynamique, au pas de temps horaire, en fonction :

- De la charge du générateur, c'est-à-dire le rapport entre les besoins du bâtiment en chaleur ou en refroidissement et la puissance maximale du générateur, à chaque pas de temps,
- De la température de fonctionnement : température d'eau de la distribution, température d'air intérieur, ou d'air soufflé
- Des conditions météorologiques extérieures,
- De la température de source amont, identifiée en fonction de son type (air extérieur, air repris, eau circulant dans le sol…), pour les générateurs thermodynamiques.

Ce calcul d'efficacité est basé sur les caractéristiques de performance à pleine charge et à un ou plusieurs points de charge partielle, identifiées dans les référentiels normatifs des générateurs. L'efficacité au point de fonctionnement sur le pas de temps est obtenue par interpolation / extrapolation entre ces éléments, comme le résume le graphique ci-dessous.

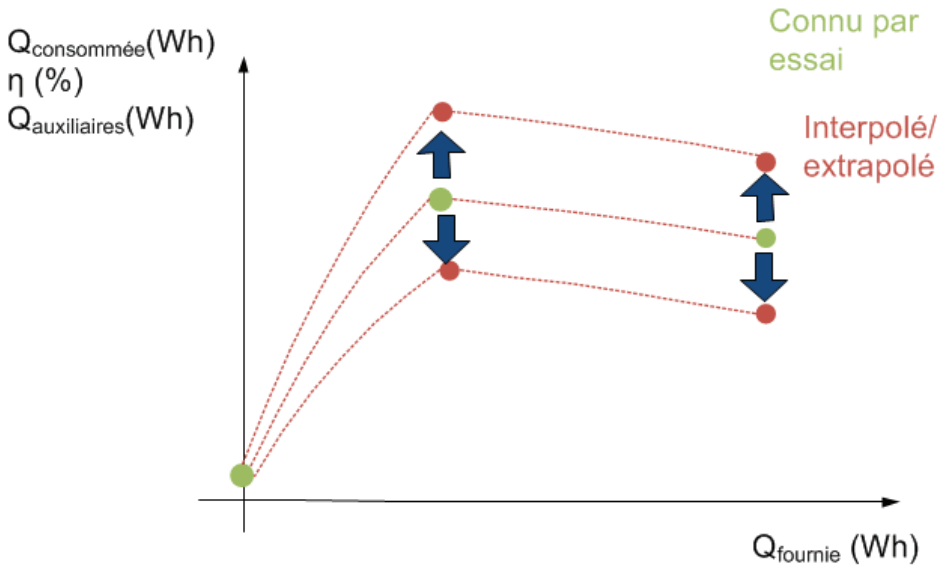


Figure 13 – Principe de modélisation de l'efficacité des systèmes énergétiques

Cette efficacité intègre également les pertes thermiques et consommations d'auxiliaires à l'arrêt du générateur, sur les périodes où la charge du générateur est nulle.

Cas des Installations solaires thermiques :

L'installation solaire est en fonctionnement pendant toute l'année. Les quantités d'énergie fournies par les capteurs solaires interviennent en déduction des besoins totaux du bâtiment, à partir d'une modélisation de l'installation incluant les composants de stockage d'eau chaude.

Le calcul se passe en plusieurs étapes : calcul de la couverture solaire pour le chauffage et/ou l'ECS ; calcul des pertes de transmission de l'installation solaire (entre stockage et appoint) ; calcul des pertes de stockage de l'appoint, calcul des pertes potentiellement récupérables de l'appoint et enfin calcul des consommations des auxiliaires du système solaire.

Cas des Installations de production par transfert de chaleur et de froid

La méthode de calcul permet la prise en compte d'installations réalisant des transferts de chaleur et de froid via une boucle d'eau (générateurs dit sur boucle d'eau) recueillant les demandes de chaud et de froid de locaux ayant des besoins différents au même moment.

Elle permet également la prise en compte de systèmes (type thermofrigopompe ou DRV) fonctionnant prioritairement en chauffage ou refroidissement (selon le besoin majoritaire) mais rejetant respectivement du froid ou du chaud lors de leur fonctionnement, utilisable pour assurer des besoins concomitants.

Pour ces générateurs, une étape supplémentaire est donc ajoutée : elle consiste à réaliser le bilan des transferts de chaleur et de froid afin de déterminer :

- Pour les générateurs sur boucle d'eau, si un appoint de chauffage ou de refroidissement est nécessaire (cas où les transferts ne permettent pas le maintien de la boucle dans sa plage de température prévue) ou pas (cas où les transferts induisent une compensation permettant le maintien de la boucle dans sa plage de température prévue)
- Pour les générateurs type thermofrigopompe et DRV, le besoin majoritaire (le besoin minoritaire étant alors satisfait intégralement par le rejet du générateur, et les consommations associées annulées).

Cas des réseaux urbains de chaleur et/ou de refroidissement

Les caractéristiques de la génération par réseau urbain de chaleur / froid ne sont à proprement parler pas prises en compte, seules les pertes liées à l'échangeur constituant la sous-station du réseau sont considérées, à partir du niveau d'isolation de ses composants.

Les consommations des auxiliaires du réseau sont considérées nulles en amont de l'échangeur de la sous-station.

3.2 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR L'ECS

Description des différentes étapes du calcul, à partir de la détermination des besoins jusqu'à leur satisfaction.

Sur le même principe que pour le chauffage, la consommation d'énergie pour la préparation de l'ECS est le rapport entre :

- l'énergie à fournir aux bornes du générateur
- et l'efficacité du générateur

L'énergie à fournir aux bornes du générateur est l'énergie nécessaire pour satisfaire les besoins en ECS augmentée des pertes de distribution de l'ECS et des éventuelles pertes de stockage.

Le calcul peut ainsi être décomposé dans les étapes suivantes.

Calcul des besoins d'eau chaude sanitaire :

Le besoin d'ECS se calcule ainsi, en partant de la valeur hebdomadaire à la valeur horaire :

- Calcul du nombre de litres d'ECS à 40°C hebdomadaires, ce calcul tient compte du besoin unitaire d'ECS (donnée conventionnelle selon type d'usage du bâtiment), et de la taille du bâtiment (le besoin unitaire étant exprimé par m² de surface, ou en fonction du nombre d'équipements pour certains usages)
- Calcul du nombre de litres d'ECS à 40°C horaire en utilisant la clé de répartition horaire qui est une donnée conventionnelle issus des scénarii
- Calcul des besoins horaires d'ECS en Wh : quantité d'énergie nécessaire à l'élévation en température de l'eau froide à 40°C pour le nombre de litres horaires calculé précédemment

Pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation conventionnelle. Ce besoin d'eau chaude sanitaire est pris égal à 392 litres à 40°C/adulte/semaine en moyenne. Il est modulé suivant les périodes d'occupation/inoccupation et la période de l'année (été/hiver et périodes de vacances).

Ces besoins sont exprimés par unité de surface. C'est la raison pour laquelle, en ce qui concerne les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, le besoin hebdomadaire est calculé en reliant la densité d'occupation à la surface habitable.

Afin de prendre en compte le fait que les enfants possèdent une demande en eau chaude inférieure à celle des adultes, la notion de nombre d'adultes équivalents (Nadeq) a été introduite (le Nadeq peut donc être un nombre non entier).

L'apport de chaleur par une installation solaire est pris en compte comme un apport gratuit qui se soustrait des besoins d'ECS. De même, la présence d'une récupération d'énergie sur les eaux grises permet de réduire le besoin.

Calcul des pertes de distribution et de stockage :

Le calcul des pertes de distribution est analogue à celui réalisé pour le chauffage les pertes de distribution

Les pertes brutes de stockage sont calculées à partir des caractéristiques d'isolation du composant de stockage, et des conditions de températures de part et d'autre du composant.

Calcul de l'efficacité des générateurs :

Pour les générateurs qui assurent à la fois le chauffage et l'ECS, l'efficacité du système de production de l'ECS se calcule de manière analogue au chauffage ; pour les autres générateurs, le principe est le suivant : prise en compte des caractéristiques en conditions nominales et de l'évolution de ces caractéristiques selon la charge et les conditions d'utilisation.

3.3 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR L'ECLAIRAGE DES LOCAUX

La consommation d'éclairage est déterminée par le produit :

- De la puissance surfacique installée pour l'éclairage des locaux (cf. chapitre 2.3.13 sur les données d'entrée)
- De la gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation (prend la valeur du coefficient C1 en période d'occupation)
- De la gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel (caractérisée par le coefficient C2)

Afin de permettre la prise en compte de l'accès à l'éclairage naturel et de différents systèmes de gestion, le calcul se fait au niveau du local (définition spécifique à l'éclairage, et défini par usage réglementaire).

Puissance installée de l'éclairage artificiel :

Pour ce qui concerne les usages maison individuelle ou accolée et logements collectifs, le système d'éclairage est entièrement conventionnel (il est en effet impossible de connaître les « émetteurs » qui seront mis en place par le futur occupant).

Cela signifie que l'impact sur les consommations énergétiques ne résulte donc que des caractéristiques des baies.

Pour les usages « maison individuelle ou accolée » et « logements collectifs », la puissance d'éclairage conventionnelle est prise égale à 1.4 W/m² dans cette méthode de calcul. Cette valeur résulte d'une puissance totale installée dans le bâtiment de 14 W/m² et d'un facteur de non-simultanéité d'utilisation des différents points d'éclairage. Pour les autres usages, le concepteur définit lui-même les systèmes d'éclairage qui seront installés dans le bâtiment. Ils sont donc caractérisés au moment du projet. Par conséquent, cette méthode de calcul laisse la possibilité au concepteur de prendre en compte la régulation des systèmes d'éclairage ainsi que leurs puissances.

Gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation :

Selon le type de système de gestion (par exemple, interrupteur manuel, détection de présence, …), la méthode de calcul fournit par local spécifique à l'éclairage, et par usage réglementaire, la valeur du coefficient C1 qui correspond à un pourcentage moyen d'utilisation de l'éclairage artificiel.

Gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel :

Les locaux sont d'abord identifiés par rapport à leur accès à la lumière naturelle (effectif, réduit, impossible) ; l'éclairement naturel intérieur est ensuite quantifié à partir de l'éclairement incident sur la baie, des caractéristiques des baies et de leurs protections mobiles ainsi que du type de régulation de l'éclairage

La méthode définit alors, selon le mode de gestion de l'éclairage artificiel par rapport à l'éclairement naturel, et pour les parties ayant et n'ayant pas accès à l'éclairement naturel de chaque local, les coefficients C2 en fonction de l'éclairement naturel Einat. Ce coefficient représente alors un taux moyen d'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel, en occupation.

Eclairage des locaux communs des logements collectifs :

Dans le cas des bâtiments ou parties de bâtiments à usage de logement collectifs, est intégrée une consommation conventionnelle d'éclairage pour les parties communes. Celle-ci se base:

- sur une puissance d'éclairage installée de 2,19 W/m²
- Sur un fonctionnement calqué sur celui de la mobilité des ascenseurs.

3.4 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DES AUXILIAIRES DE CHAUFFAGE, REFROIDISSEMENT, ECS ET DE VENTILATION

La consommation d'énergie des auxiliaires dépend de leur puissance, de leurs caractéristiques thermiques et de leur durée d'utilisation qui dépend des scénarios d'usage et du système de gestion et régulation. On distingue les deux types d'auxiliaires suivants :

- Les auxiliaires qui concernent la génération et la distribution. Ce sont principalement des circulateurs.
- Les auxiliaires de ventilation qui concernent les ventilateurs locaux et centraux pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation.

Auxiliaires de génération :

Ils sont bien sûr liés au fonctionnement du générateur dont ils font partie. Ainsi, la consommation de ces auxiliaires (hors puissance minimale de veille) est considérée proportionnelle au taux de charge auquel fonctionne le générateur sur le pas de temps.

Auxiliaires de distribution :

La consommation d'énergie des auxiliaires de distribution dépend de leur puissance, et du système de gestion et régulation qui leur est associé (fonctionnement constant, débit variable, …).

Auxiliaires de ventilation :

Les consommations des ventilateurs locaux des émetteurs dépendent de leur puissance, de la régulation utilisée qui peut conduire à un fonctionnement permanent, ou proportionnel aux besoins de chauffage ou de refroidissement.

Les consommations ne sont calculées que durant les saisons de fonctionnement des générateurs.

Pour le système de ventilation, la consommation des ventilateurs est liée à leur puissance et à leur période de fonctionnement (continue en résidentiel). On peut ainsi avoir des valeurs de puissance différenciées en occupation et en inoccupation.

3.5 LES USAGES SPECIFIQUES DE L'ELECTRICITE

Dans le cadre de cette méthode de calcul, est réalisée une estimation de la consommation des équipements mobiliers regroupant tous les appareils absents à la livraison du bâtiment et consommant de l'énergie électrique : équipements bureautiques, électroménagers, appareils domestiques… à l'exception des dispositifs d'éclairage mobiliers déjà comptabilisés partiellement dans la méthode Th-BCE pour certains types de locaux (aires de vente, bureaux), et des équipements de process.

Par convention, les consommations des équipements mobiliers sont considérées comme étant électriques et égales aux valeurs d'apports internes de chaleur non dus aux occupants. Leur répartition horaire suit donc la répartition horaire des apports internes des scénarios des différents usages.

Cette consommation est prise en compte uniquement pour le calcul du taux d'autoconsommation et du taux d'autoproduction des productions électriques à demeure.

3.6 CALCUL DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE LIEE AUX DEPLACEMENTS DES OCCUPANTS A L'INTERIEUR DES BATIMENTS

Est pris ici en compte la consommation d'énergie nécessaire aux déplacements des occupants à l'intérieur du bâtiment pour les équipements ascenseurs et escalators.

Sur la base de scénarios conventionnels définissant, par type d'usage du bâtiment, le nombre de voyages réalisés par an par les ascenseurs et les escalators, et sur la base de la description technique des équipements faites par l'utilisateur, la méthode de calcul détermine une consommation horaire d'électricité nécessaire au déplacement des occupants à l'intérieur du bâtiment.

On intègre également dans ce poste les consommations des éventuels parkings associés au bâtiment pour l'éclairage et la ventilation.

Eclairage des parkings :

Dans le cas de la présence d'un parking associé au bâtiment, ses consommations d'éclairage sont calculées par le produit :

- De la puissance d'éclairage installée
- Des heures durant lesquelles l'éclairage est allumé
- De l'éventuel impact de la gestion par détecteur de présence (abattement conventionnel de consommation de 80%).

Ventilation des parkings :

Le modèle calcule la consommation annuelle et horaire du système de ventilation forcée d'un parking fermé, si l'utilisateur déclare que le parking est en ventilation forcée.

Selon l'usage du bâtiment auquel est associé le parking (habitation ou hors habitation), le débit d'air pris en compte est modifié (débit fixé en habitation et débit estimé hors habitation pour maintenir une concentration en monoxyde de carbone CO sous un seuil de 50 ppm).

Par la suite, la consommation dépend également :

- Du nombre de places de parking pour l'usage habitation
- Du temps d'occupation du parking.

3.7 CALCUL DE LA PRODUCTION LOCALE ELECTRIQUE

Les productions locales d'énergie prises en compte dans la méthode de calcul sont :

- Les micro et mini-cogénérations.
- Les installations solaires photovoltaïques

3.7.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MODELE DE COGENERATION.

Le modèle permet de différencier les micro-cogénérateurs standard et à condensation en termes d'évolution du rendement thermique en fonction de la température aval de fonctionnement.

Le calcul réalisé se base sur une priorité donnée à la satisfaction des besoins d'eau chaude sanitaire (lorsque le micro-cogénérateur est de type double service). Les performances sont alors déterminées en fonction du taux de charge du micro-cogénérateur, par interpolation entre les performances à charge maximale et minimale.

La cogénération d'électricité n'est possible que si le taux de charge est supérieur, sur le pas de temps, à la puissance thermique minimale de fonctionnement.

3.7.2 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MODELE DE CAPTEURS PHOTOVOLTAÏQUES.

Les installations solaires photovoltaïques indépendantes ne sont pas prises en compte, la méthode de calcul ne vise que les installations photovoltaïques connectées au réseau électrique et qui sont prévues dans le permis de construire.

La quantité d'énergie annuelle produite par le système photovoltaïque est calculée au niveau du bâtiment, elle est le produit de l'énergie incidente annuelle dans le plan des modules photovoltaïques, de la puissance crête et de l'indice de performance.

L'énergie incidente annuelle dans le plan des modules est le produit de la valeur de cette énergie sur un plan horizontal définie par région et du facteur de transposition qui traduit la variation d'énergie incidente dans un plan incliné par rapport à l'énergie incidente dans un plan horizontal

L'indice de performance est un facteur de correction du rendement global des modules PV, il dépend de la température réelle de fonctionnement des modules et du type d'intégration des modules dans le bâtiment

La puissance réellement délivrée est également fonction des propriétés de l'onduleur placé après les modules : évolution du rendement de l'onduleur lié à la puissance produite par les modules en comparaison de la puissance maximale délivrable par l'onduleur ; extinction (protection) de l'onduleur si la puissance d'entrée dépasse de 15% la puissance nominale de l'onduleur.

Il est possible de décrire des capteurs photovoltaïques à deux niveaux :

- Au niveau bâtiment pour les installations supportées par le bâtiment ou par un élément constructif ayant une continuité physique structurelle avec le bâtiment faisant l'objet de l'étude.
- Au niveau projet pour les autres installations.

Répartition des productions électriques décrites au niveau bâtiment :

Toute production électrique par capteurs photovoltaïques décrite au niveau d'un bâtiment est affectée uniquement à ce bâtiment. Le taux d'autoconsommation de cette production est donc calculée également uniquement sur ce bâtiment.

Répartition des productions électriques sur plusieurs bâtiments / répartition des productions électriques autoconsommées sur les postes de consommation :

Dans le cas d'une production électrique décrite au niveau projet, et qui peut donc être associée à plusieurs bâtiments, elle est répartie par bâtiment au prorata des consommations électriques horaires tous usages de chaque bâtiment par rapport aux consommations électriques horaires tous usages du projet.

La répartition de la production autoconsommée entre les différents postes de consommation d'énergie est réalisée heure par heure, au prorata de la consommation électrique des chacun de ces postes.

Taux d'autoconsommation, taux d'autoproduction :

Un calcul du taux d'autoconsommation de l'électricité produite par les systèmes de production électrique à demeure est réalisé dans le cadre de la présente méthode.

Il présente les impacts suivants sur les différents indicateurs :

- Cep et Cep,nr : la part autoconsommée de la production d'électricité vient en déduction des consommations d'énergie pour les usages concernés.
- Indicateur $IC_{énergie}$: celui-ci ne tient compte que des énergies importées (donc déduction faite de la part autoconsommée pour le vecteur énergétique)
- Impact environnemental des installations de production d'électricité : celles-ci sont prises en compte à hauteur de la part de la production qui est autoconsommée (cf. paragraphe 4.2.1.1.5).

Son principe en est le suivant :

- Toutes les productions électriques du bâtiment ($E^{bat}_{elec\_prod\_tot}$) sont comptabilisées (quel que soit le vecteur énergétique utilisé).
- Elles sont comparées heure par heure aux consommations électriques tous usages $W^{bat}_{elec\_tous\_usages}$ (usages intégrés dans les consommations conventionnnelles et autres usages spécifiques de l'électricité) du bâtiment selon la formule ci-dessous pour en déduire la part autoconsommée $E^{bat}_{elec\_prod\_AC}$:

$$\boldsymbol{E^{bat}_{elec\_prod\_AC}(h) = MIN(E^{bat}_{elec\_prod\_tot}(h)\ ;\ W^{bat}_{elec\_tous\_usages}(h))} \qquad (1)$$

- La valeur la plus petite est donc retenue comme étant autoconsommée
- Le taux d'autoconsommation au niveau du bâtiment, sur l'année $\boldsymbol{TAC^{bat}_{elec}}$ est déduit en divisant la part autoconsommée $E^{bat}_{elec\_prod\_AC}$ par la production électrique totale $E^{bat}_{elec\_prod\_tot}$ selon la formule ci-dessous :

$$\boldsymbol{TAC^{bat}_{elec} = \frac{E^{bat}_{elec\_prod\_AC\_annuel}}{E^{bat}_{elec\_prod\_tot\_annuel}}} \qquad (2)$$

Un taux d'autoproduction est également déterminé sur un schéma similaire, avec la variante suivante :

- Le taux d'autoproduction est déduit en divisant la part autoconsommée par la consommation électrique totale tous usages selon la formule ci-dessous :

$$TAP_{elec}^{bat} = \frac{E_{elec\_prod\_AC\_annuel}^{bat}}{W_{elec\_annuel\_tous\_usages}^{bat}} \quad (3)$$

Enfin, pour les besoins des calculs réalisés lors de l'analse de cycle de vie (cf. 4.2.1.1.4), des taux d'autoconsommation complémentaires sont déterminés spécifiquement pour les installations photovoltaïques, et pour les modules de cogénération. Ils sont déterminés selon les formules ci-dessous ;

- Pour les installations photovoltaïques, on divise la part de la production de ces installations qui est autoconsommée par la production électrique de ces installations selon la formule ci-dessous :

$$TAC\_PV_{elec}^{bat} = \frac{E_{elec\_prod\_PV\_AC\_annuel}^{bat}}{W_{elec\_annuel\_tous\_usages}^{bat}} \quad (4)$$

- Pour les installations de cogénération, le but est d'obtenir un taux d'autoconsommation global de la chaleur fournie, et de l'électricité produite. Pour ce faire, on divise la part de la production de ces installations qui est autoconsommée (la chaleur produite est autoconsommée à 100%) par la production électrique de ces installations selon la formule ci-dessous :

$$TAC\_cog\acute{e}_{global}^{bat} = \frac{Cef_{comb\_tot}^{coge,bat} + E_{elec\_prod\_coge\_AC\_annuel}^{bat}}{Cef_{comb\_tot}^{coge,bat} + E_{elec\_prod\_coge\_annuel}^{bat}} \quad \mathbf{(5)}$$

4. ANALYSE DU CYCLE DE VIE

4.1 PRINCIPE GENERAL DE CALCUL D'UNE CONTRIBUTION AUX IMPACTS

Le calcul de toutes les contributions aux impacts environnementaux suit un principe identique : associer une donnée de projet (quantité de produit, quantité d'énergie issue du calcul énergétique, donnée de chantier…) à une donnée environnementale pertinente qui fournit les impacts unitaires liés à cette donnée de projet. Le calcul de l'impact environnemental consiste le plus souvent à simplement multiplier la donnée de projet par la donnée environnementale. Un paramètre d'adaptation de la donnée de projet au bâtiment est parfois nécessaire (calcul d'un nombre de remplacements pour un produit par exemple).

Le principe de calcul d'une contribution à un impact peut être schématisé par la Figure 14.

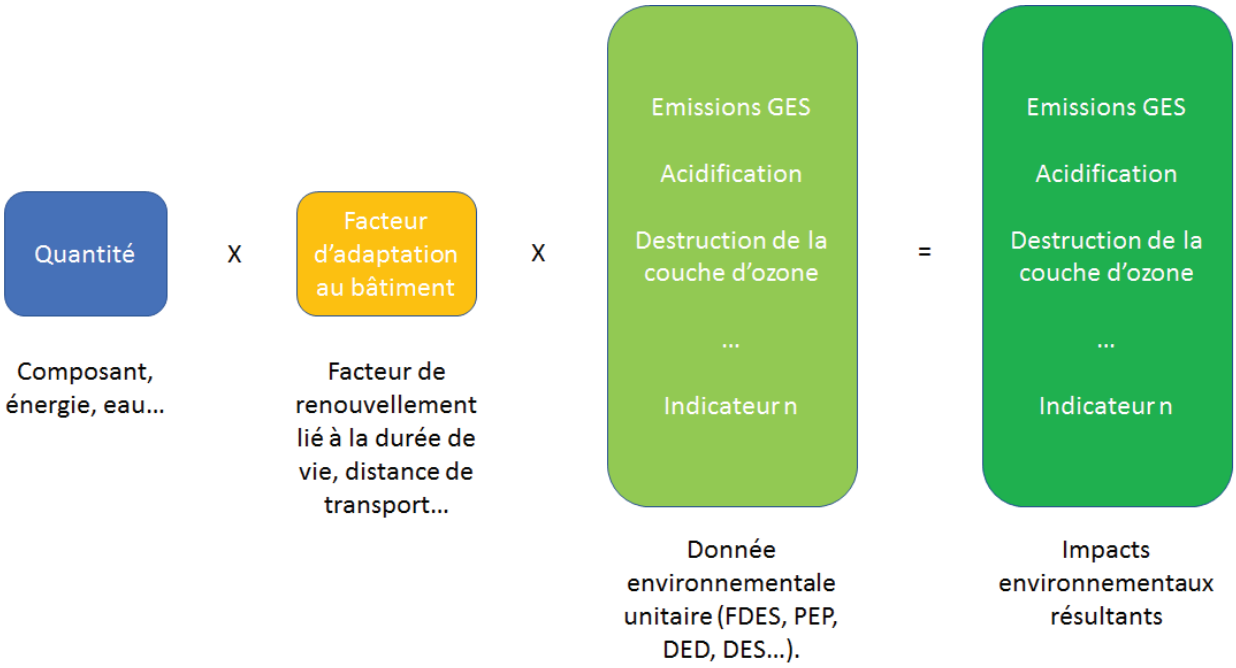


Figure 14 – Principe général de calcul d'une contribution aux impacts environnementaux

Selon la contribution calculée, la quantité peut correspondre par exemple à des quantités de composants (unités, m^2, ml,…), d'énergie (kWh d'énergie consommée) ou encore d'eau (m^3).

Le facteur d'adaptation peut consister par exemple en un facteur de renouvellement lié à la durée de vie, de pondération dynamique, d'adaptation de la quantité à l'unité fonctionnelle utilisée dans la donnée environnementale unitaire (par exemple passage d'une masse à une surface grâce à une densité surfacique), de prise en compte d'une distance propre au chantier, d'un taux d'affectation de la quantité au bâtiment étudié dans le cas de parcelles multibâtiment ou encore d'autoconsommation d'énergie produite localement.

Les données environnementales unitaires sont des données vectorielles. Elles comportent autant de lignes que le nombre d'impacts que l'on souhaite calculer. Il peut s'agir de données issues de déclarations environnementales, de données environnementales par défaut ou de données environnementales de service.

Les impacts résultants du calcul de la contribution (à un module, à un lot, au bâtiment…) sont donc aussi des données vectorielles comportant autant de lignes que d'impacts calculés.

Chaque contribution peut potentiellement être calculée :

- par un calcul détaillé ou par un calcul simplifié,
- par une méthode statique ou par une méthode dynamique.

Dans le cadre de cette méthode, la distinction entre méthode dynamique (ou « calcul dynamique ») et méthode statique (ou « calcul dynamique ») ne s'applique qu'au calcul des impacts des émissions de gaz à effet de serre sur le changement climatique.

Dans le cadre de la méthode statique, l'impact des émissions de gaz à effet de serre est calculé en intégrant leur contribution au réchauffement climatique (forçage radiatif) sur une période de 100 ans après la date de leur émission (indicateur potentiel de réchauffement global à 100 ans ou PRG100) quelle que soit la date de cette émission. Le calcul statique considère donc qu'une émission a le même impact quelle que soit sa date d'émission durant le cycle de vie du bâtiment, ou, autrement dit, que toutes les émissions du cycle de vie du bâtiment ont lieu au même moment.

La méthode dynamique vise à évaluer la contribution au réchauffement climatique à un horizon temporel donné : l'indicateur calculé correspond à une évaluation du forçage radiatif cumulé sur les 100 ans qui suivent la construction du bâtiment. La méthode considère alors que l'impact d'une émission ou captation dépend de sa date d'émission : pour une émission, plus celle-ci est précoce plus son impact est fort, plus elle est tardive plus son impact est faible ; pour une captation, plus celle-ci est précoce plus la réduction d'impact relative à cette captation est forte, plus elle est tardive plus la réduction d'impact relative à cette captation est faible.

Par ailleurs, la méthode statique et la méthode dynamique, par l'intermédiaire des scénarios conventionnels utilisés pour l'élaboration des données environnementales, fixent un horizon temporel pour la prise en compte des émissions dans l'environnement (pour les centres de stockage de déchets notamment) dans le calcul des impacts des composants et donc des bâtiments. Cet horizon est fixé à 100 ans après la fin de vie du composant.

Pour chacune des contributions, toutes les modalités de calcul pertinentes sont présentées ci-après.

4.2 CALCUL DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES COMPOSANTS

4.2.1 CALCUL DETAILLE DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES COMPOSANTS

4.2.1.1 Calcul statique

La description des produits de construction et équipements, considérés dans la contribution « Composants » est réalisée selon le découpage en lots et sous-lots présenté au 2.3.2. A chaque composant installé dans le bâtiment doivent être associées une donnée environnementale (en suivant les règles du chapitre 2.6) et la quantité précise mise en œuvre.

Le calcul statique est similaire quel que soit l'impact environnemental considéré, les formules suivantes sont donc vectorielles dès lors que qu'il s'agit de calculs d'impacts environnementaux.

4.2.1.1.1 Calcul du facteur de renouvellement du composant p

La première étape pour le calcul de la contribution de chacun des composants p aux impacts du bâtiment est le calcul du facteur de renouvellement de ces composants dans l'ouvrage. En effet, si la durée de vie estimée d'un composant dans l'ouvrage est inférieure à la période d'étude de référence alors ce composant doit faire l'objet d'un renouvellement au cours de la vie du bâtiment. Ce facteur de renouvellement, qui peut être non entier, est obtenu avec la formule suivante :

$$R_p = Max\left(1, \frac{PER}{DVE_p}\right) \quad (6)$$

Où

PER = Période d'étude de référence du bâtiment en années

DVE_p = Durée de vie estimée du produit ou équipement p en années

Pour la durée de vie estimée, la durée de vie de référence (DVR) de la donnée environnementale associée au produit ou à l'équipement doit être considérée par défaut. La modification à la hausse de la durée de vie d'un composant n'est pas autorisée. La modification à la baisse de la durée de vie d'un composant doit être justifiée. Donc par défaut $DVE_p = DVR_p$.

Note : Pour un composant donné, le facteur de renouvellement est ici considéré identique pour tous les sous-lots dans lesquels il est utilisé. Cependant, si nécessaire, le facteur de renouvellement peut être pris différent d'un sous-lot à l'autre si la durée de vie du composant est affectée par le sous-lot dans lequel il est utilisé.

4.2.1.1.2 Détail des modules d'une donnée environnementale d'un composant p

Pour pouvoir être utilisée dans la méthode de calcul détaillé, toute donnée environnementale du composant p doit pouvoir s'exprimer comme la somme de 5 termes (certains pouvant être nuls), chaque terme correspondant à une phase du cycle de vie :

$$DE_p = DE_p^{Production} + DE_p^{Edification} + DE_p^{Exploitation} + DE_p^{Fin\ de\ vie} + DE_p^{module\ D} \quad (7)$$

Avec pour les composants pour lesquels les modules sont détaillés :

$$DE_p^{PhaseCV} = \sum_m DE_p^m \quad (8)$$

Où

DE_p^m = valeur de l'impact du composant p par unité fonctionnelle pour le module m

$DE_p^{PhaseCV}$= valeur de l'impact du composant p par unité fonctionnelle pour la phase du cycle de vie considérée du composant

Pour la production, m varie de A1 à A3.

Pour l'édification, m varie de A4 à A5.

Pour l'exploitation, dans le cas général m varie de B1 à B4.

> Lorsque pour une donnée environnementale d'un produit ou équipement, les modules B1 à B4 ne sont pas séparés des modules B6 et B7, cette phase du cycle de vie du produit ou de l'équipement est exclue du calcul pour éviter tout double comptage dans le calcul des contributions relatives à l'énergie et à l'eau. On prend alors $DE_p^{Exploitation} = 0$. Dans ce cas, les modules B1 à B4 du composant sont négligés. Si l'équipement utilise un fluide frigorigène, les impacts relatifs à ce fluide ne peuvent pas être négligés et font l'objet d'un calcul spécifique décrit au 4.2.1.1.6.

Pour la fin de vie, m varie de C1 à C4

Pour le module D, m vaut D.

4.2.1.1.3 Calcul de la contribution d'un composant p d'un sous-lot k aux impacts d'une phase du cycle de vie donnée

Pour la phase de production

Sont attribués à la phase de production du bâtiment l'ensemble des impacts relatifs à la phase de production des composants initialement mis en œuvre.

$$I_{p,k}^{Production} = Q_p \times DE_p^{Production} \quad (9)$$

Pour la phase d'édification

Sont attribués à la phase d'édification du bâtiment l'ensemble des impacts relatifs à la phase d'édification des composants initialement mis en œuvre.

$$I_{p,k}^{Edification} = Q_p \times DE_p^{Edification} \quad (10)$$

Pour la phase d'exploitation

Pour les composants pour lesquels R_p est différent de 1 ($DVE_p < PER$), sont attribués à la phase d'exploitation du bâtiment l'ensemble des impacts relatifs à la phase d'exploitation des composants ainsi que les impacts relatifs à la production, l'édification et la fin de vie des composants remplacés pendant l'exploitation.

$$I_{p,k}^{Exploitation} = Q_p \times \frac{PER}{DVE_p} \times DE_p^{Exploitation} + (R_p - 1) \times (DE_p^{Production} + DE_p^{Edification} + DE_p^{Fin\ de\ vie})] \quad (11)$$

Pour les composants pour lesquels R_p est égal à 1 ($DVE_p \geq PER$),,sont attribués à la phase d'exploitation du bâtiment une partie des impacts relatifs à la phase d'exploitation des composants en utilisant le ratio entre la période d'étude de référence et la durée de vie estimée du composant.

$$I_{p,k}^{Exploitation} = Q_p \times \frac{PER}{DVE_p} \times DE_p^{Exploitation} \quad (12)$$

Pour la phase de fin de vie

Sont attribués à la phase de fin de vie du bâtiment l'ensemble des impacts relatifs à la phase de fin de vie des composants présents dans le bâtiment lors de sa fin de vie

$$I_{p,k}^{Fin\ de\ vie} = Q_p \times DE_p^{Fin\ de\ vie} \quad (13)$$

Pour le module D

Sont attribués au module D du bâtiment l'ensemble des impacts relatifs aux modules D des composants mis en œuvre initialement ou lors des remplacements.

$$I_{p,k}^{Module\ D} = Q_p \times R_p \times DE_p^{module\ D} \quad (14)$$

Dans toutes ces formules :

$I_{p,k}^{PhaseCV}$= contribution du composant p aux impacts du sous lot k, pour la phase du cycle de vie considérée du bâtiment

Q_p = quantité initiale du composant p utilisée dans le bâtiment (en multiple de l'unité fonctionnelle utilisée dans la donnée environnementale associée)

$DE_p^{PhaseCV}$ = valeur de l'impact du composant p par unité fonctionnelle pour la phase du cycle de vie considérée

R_p = facteur de renouvellement du composant p

4.2.1.1.4 Calcul de la contribution des composants d'un sous-lot k aux impacts d'une phase du cycle de vie donnée

Cas général

Pour obtenir la contribution aux impacts d'un sous-lot k, on réalise uniquement la somme des impacts des composants de ce sous-lot :

$$\boldsymbol{I_{composants,k}^{PhaseCV} = \sum_{p} I_{p,k}^{PhaseCV}} \quad (15)$$

Où :

$I_{composants,k}^{PhaseCV}$ = contribution des composants du sous-lot k aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

$I_{p,k}^{PhaseCV}$ = contribution du composant p aux impacts du sous-lot k, pour la phase du cycle de vie considérée du bâtiment

Cas particulier du sous-lot 8.2 (installation de cogénération)

Les impacts des composants du sous-lot 8.2 sont affectés au bâtiment au prorata du taux d'auto-consommation globale d'électricité et de chaleur issues de la cogénération :

$$\boldsymbol{I_{composants,lot8.2}^{PhaseCV} = \sum_{p} I_{p,k}^{PhaseCV} \times TAC\_cogé_{global}^{bat}} \quad (16)$$

$I_{composants,lot8.2}^{PhaseCV}$ = contribution des composants du sous lot 8.2 aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

$I_{p,k}^{PhaseCV}$ = contribution du composant p aux impacts du sous lot 8.2, pour la phase du cycle de vie considérée

$\boldsymbol{TAC\_cogé_{global}^{bat}}$= Taux d'autoconsommation globale d'électricité et de chaleur issues de la cogénération (voir 3.7.2pour son calcul)

Cas particulier d'un bâtiment multiusage ; affectation d'un composant à une entité programmatique

Dans le cas d'un bâtiment multi-usage, plusieurs entités programmatiques peuvent être définies avec leur propre découpage en lots et sous-lots. Lorsqu'un composant ne peut pas être affecté à un sous-lot d'une entité programmatique de manière évidente, alors le composant peut être affecté en utilisant un coefficient d'affectation $F_{p,j}$.

Dans ce cas, les impacts du composant sont affectés à plusieurs sous-lots k de plusieurs entités programmatiques j :

$$I^{PhaseCV}_{composants,k,j} = \sum_{p} I^{PhaseCV}_{p,k} \times F_{p,j} \quad (17)$$

Avec

$I^{PhaseCV}_{composants,k,j}$= contribution des composants du sous lot k aux impacts de la phase du cycle de vie considérée pour une entité programmatique j

$I^{PhaseCV}_{p,k}$ = contribution du composant p aux impacts du sous lot k, pour la phase du cycle de vie considérée

$F_{p,j}$ = coefficient d'affectation du produit p à l'entité programmatique j. Les règles de calcul des coefficients d'affectation sont décrites ci-dessous et on a $\sum_j F_{p,j} = 1$

Pour le sous lot 8.2, on utilise le même taux d'autoconsommation pour toutes les entités programmatiques.

Calcul des coefficients d'affectation $F_{p,j}$ d'un composant à une entité programmatique

Principe 1

Tout composant pouvant être affecté spécifiquement à l'entité programmatique j parce qu'il ne sert que pour cette entité est affecté à cette entité. On a alors : $F_{p,j} = 1$ pour l'entité j et $F_{p,k}$ =0 pour toute autre entité.

Principe 2 : règles applicables aux appareils élévateurs

Règle 1 : Les infrastructures et la machinerie liées aux appareils élévateurs sont affectées au prorata du nombre de niveaux concernés par chaque entité programmatique.

Règle 2 : Pour les étages comprenant plusieurs entités programmatiques : la SDP est utilisée pour pondérer le tantième d'étage affecté à l'activité.

Rège 3 : Pour les étages occupés par des aires de stationnement, il faut utiliser une règle similaire à l'affectation des impacts des aires de stationnement pour chaque entité programmatique (exemple : 1 place de stationnement par logement, 1 place de stationnement pour X m² de bureaux, etc). (idem principe 3)

Règle 4 : Si une entité programmatique est située uniquement en rez-de-chaussée, sans niveaux inférieurs, les appareils élévateurs ne lui sont pas affectés.

Pour un bâtiment avec uniquement des niveaux supérieurs (RDC et plus), la formule générale suivante s'applique alors (avec i=0 pour le RDC) :

$$F_{p,j} = \frac{1}{n-1} \times \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{Sref_{j,i}}{Sref_{Total,i}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{p_{j,i}}{p_{total,i}}\right) \quad (18)$$

Pour un bâtiment avec des niveaux en sous-sol , la formule suivante s'applique alors :

$$F_{p,j} = \frac{1}{n} \times \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{Sref_{j,i}}{Sref_{Total,i}} + \sum_{i=1}^{n} \frac{p_{j,i}}{p_{total,i}}\right) \quad (19)$$

n =nombre de niveaux (RDC inclus)

$Sref_{j,i}$ = surface de référence occupé par l'entité programmatique au niveau i (hors aires de stationnement)

$Sref_{Total,i}$ = surface de référence total du niveau i (hors aires de stationnement)

$p_{j,i}$ = Nombre de places de stationnement relatives à l'entité programmatique j au niveau i

$p_{total,i}$ = Nombre total de places de stationnement disponibles au niveau i

Principe 3 : règle applicable aux aires de stationnement

Pour les composants utilisés pour la réalisation des aires de stationnement, il faut à chaque fois que possible utiliser les règles associées à l'opération (règles induites par le plan local d'urbanisme ou le maître d'ouvrage par exemple) pour chaque bâtiment ou chaque entité programmatique. Exemple : 1 place de parking par logement, 1 place de parking tous les X m² de bureaux, etc.

Principe 4 : Règles applicables aux équipements mutualisés de production d'énergie

L'Impact d'un système collectif de production entre bâtiments ou entre entités programmatiques (exemple : chaudière collective) est affecté à chaque bâtiment ou entité programmatique au prorata de ses consommations.

Pour les productions locales d'électricité (production PV par exemple), le choix est laissé au maître d'ouvrage de définir l'affectation des impacts de la production, dans le cadre d'une opération multi-bâtiment, selon l'une des deux méthodes suivantes :

- Affectation des impacts de l'équipement et les bénéfices de la production au bâtiment qui la supporte.
- Répartition des impacts et bénéfices au prorata de la surface de référence de chaque bâtiment.

Principe 5

Lorsqu'aucun des principes précédents ne s'applique, l'impact des composants est rapporté à chaque entité programmatique j au prorata de la surface de référence.

$$F_{p,j} = \frac{Sref_j}{Sref_{Bâtiment}} \quad (20)$$

Note : pour une affectation à un bâtiment dans une opération multibâtiments, le numérateur est la surface de référence du bâtiment considéré et le dénominateur la surface de référence totale de l'opération.

4.2.1.1.5 Calcul de la contribution des composants d'un lot i aux impacts d'une phase du cycle de vie donnée

Cas général (pour lot 1 à 12)

Pour obtenir la contribution aux impacts des composants d'un lot i, on réalise la somme des impacts des composants des sous-lots k affectés à ce lot :

$$I^{PhaseCV}_{composants,i} = \sum_{k} I^{PhaseCV}_{composants,k} \quad (21)$$

Où :

$I^{PhaseCV}_{composants,i}$= contribution des composants du lot i aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

$I^{PhaseCV}_{composants,k}$ = contribution des composants du sous-lot k aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

Cas particulier du lot 13

Les impacts des composants du lot 13 sont affectés au bâtiment au prorata du taux d'autoconsommation d'électricité issue des composants du lot 13 :

$$I^{PhaseCV}_{composants,lot13} = \sum_{p} I^{PhaseCV}_{p,lot13} \times \boldsymbol{TAC\_PV^{bat}_{elec}} \quad (22)$$

Avec

$I^{PhaseCV}_{composants,lot13}$ = contribution des composants du lot 13 aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

$I^{PhaseCV}_{p,lot13}$ = contribution du composant p aux impacts du lot 13 pour la phase du cycle de vie considérée (il n'y a pas de sous-lots dans ce lot)

$\boldsymbol{TAC\_PV^{bat}_{elec}}$= Taux d'autoconsommation d'électricité issue des composants du lot 13 (voir3.7.2)

Cas particulier d'un bâtiment multiusage

Le principe est le même que dans le cas général mais on ne somme que la part des impacts affectés à chaque sous-lot de l'entité programmatique :

$$I^{PhaseCV}_{composants,i,j} = \sum_{k} I^{PhaseCV}_{composants,k,j} \quad (23)$$

$I^{PhaseCV}_{composants,i,j}$= contribution des composants du lot i aux impacts de la phase du cycle de vie considérée pour une entité programmatique j

$I^{PhaseCV}_{composants,k,j}$= contribution des composants du sous-lot k aux impacts de la phase du cycle de vie donnée pour une entité programmatique j

Il faut alors vérifier :

$$\sum_{j} \boldsymbol{I^{PhaseCV}_{composants,i,j}} = \boldsymbol{I^{PhaseCV}_{composants,i}} \quad (24)$$

4.2.1.1.6 Calcul des impacts liés aux émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques

Normalement, pour l'équipement contenant le fluide frigorigène i, la donnée environnementale de cet équipemement, pour la phase d'exploitation, contient les émissions directes de fluide frigorigène (en B1 généralement) et les impacts de la production de fluide équivalente aux fuites en B2. Les émissions de fluides frigorigènes sont alors prises en compte par l'intermédiaire des calculs précédents directement au travers des modules B1 et B2 de la donnée environnementale associée à l'équipement.

Ce paragraphe présente le calcul des impacts des émissions de fluides frigorigènes en phase exploitation dans le cas particulier des composants pour lesquels les modules B1 et B2 ont dû être supprimés car non dissociables des modules B6 et/ou B7 (voir 4.2.1.1.2).

Cette méthode est notamment utilisée pour tous les composants utilisant des fluides frigorigènes et qui sont associés à des données environnementales par défaut (DED) ou au lot forfaitaire 8.1.

Calcul des impacts des émissions de fluides frigorigènes en phase exploitation

La contribution aux impacts des émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques du bâtiment pour la phase d'exploitation du bâtiment est la somme des contributions aux impacts de chaque fluide frigorigène utilisé dans le bâtiment lors de sa phase d'exploitation :

$$I_{fluides\ frigo}^{Exploitation} = \sum_{i} I_{fluide\ i}^{Exploitation} \quad (25)$$

Où

$I_{fluides\ frigo}^{Exploitation}$= Contribution aux impacts des émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques du bâtiment pour la phase d'exploitation du bâtiment

$I_{fluide\ i}^{Exploitation}$=contribution aux impacts du fluide frigorigène i pour la phase d'exploitation du bâtiment.

La contribution aux impacts du fluide frigorigène i pour la phase d'exploitation correspond aux impacts liés aux émissions régulières de fluide i pendant la phase d'exploitation (fuites). Les émissions de fluide frigorigène liées à la production du composant et à sa fin de vie sont déjà intégrées dans la phase d'exploitation via les modules A3 et C4 des données environnementales (voir 4.2.1.1.2)

Cette contribution est calculée en tenant compte de la charge initiale en fluide i de l'équipement et du taux de fuite lors de la phase d'exploitation (fuites d'exploitation nécessitant les recharges).

$$I_{fluide\ i}^{Exploitation} = T_{Exploitation} \times Ch_i \times DE_i \times PER \quad (26)$$

Cette formule se substitue donc aux modules B1 et B2 des données environnementales des composants pour lesquelles ces modules ne sont pas disponibles séparément des autres modules de la phase d'exploitation du composant.

Où

$T_{Exploitation}$= taux de fuite lié à la phase d'exploitation (%) (2% par convention, donnée non modifiable)

Ch_i = charge initiale de l'équipement en fluide i (en kg)

DE_i = Données environnementales conventionnelles sur les impacts du fluide i (/kg). Cette donnée contient non seulement les impacts directs des émissions de fluide i sur le réchauffement climatique mais aussi les impacts indirects liés à la production de ce fluide. Dans les PEP, les émissions directes sont normalement consignées en B1 et indirectes en B2.

Cas particulier du bâtiment multiusage :

Pour l'affectation des émissions des équipements affectés à plusieurs entités programmatiques, on utilise le coefficient d'affectation de l'équipement p ($F_{p,j}$) (voir 4.2.1.1.4).

4.2.1.1.7 Calcul de la contribution des composants aux impacts d'une phase du cycle de vie donnée

Cas général

Pour les phases de production, édification et fin de vie du bâtiment ainsi que pour le module D, la contribution des composants du bâtiment aux impacts de la phase du cycle de vie considérée est obtenue par la somme des contributions des lots. Cette contribution est exprimée par m² de surface de référence du bâtiment.

$$I_{composants}^{PhaseCV} = \frac{1}{S_{ref}} \times \sum_{i} I_{composants,i}^{PhaseCV} \quad (27)$$

Pour la phase d'exploitation du bâtiment, la contribution des composants du bâtiment aux impacts est obtenue par la somme des contributions des composants des lots et des impacts des fluides frigorigènes. Cette contribution est exprimée par m² de surface de référence du bâtiment.

$$I_{composants}^{Exploitation} = \frac{1}{S_{ref}} \times (\sum_{i} I_{composants,i}^{Exploitation} + I_{fluides\ frigo}^{Exploitation}) \quad (28)$$

Où :

$I_{composants}^{Exploitation}$ = contribution des composants du bâtiment aux impacts de la phase d'exploitation du bâtiment (impact/m^2)

$I_{composants,i}^{Exploitation}$= contribution des composants du lot i aux impacts de de la phase d'exploitation du bâtiment

$I_{fluides\ frigo}^{Exploitation}$ = Contribution aux impacts des émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques du bâtiment pour la phase d'exploitation

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

Cas d'un bâtiment multi-usage

$$\boldsymbol{I_{composants}^{PhaseCV} = \frac{1}{S_{ref}} \times \sum_{j} I_{composants,j}^{PhaseCV}} \quad (29)$$

Où :

$I_{composants}^{PhaseCV}$ = contribution des composants du bâtiment aux impacts de la phase du cycle de vie considérée (impact/m^2)

$I_{composants,j}^{PhaseCV}$ = contribution des composants de l'entité programmatique j aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.2.1.1.8 Calcul de la contribution des composants aux impacts sur tout le cycle de vie du bâtiment

La contribution des composants aux impacts totaux du bâtiment sur l'ensemble du cycle de vie est la somme des contributions aux impacts des composants aux différentes phases du cycle de vie (production, édification, exploitation et fin de vie). Elle peut s'exprimer à l'échelle du sous lot, du lot et du bâtiment complet. Elle est calculée par unité de surface de référence.

En intégrant par étape du cycle de vie ou par sous lot et lot, on peut alors exprimer indifféremment :

$$I_{composants} = (I^{Production}_{composants} + I^{Edification}_{composants} + I^{Exploitation}_{composants} + I^{Fin\ de\ vie}_{composants} + I^{Module\ D}_{composants}) \quad (30)$$

ou

$$I_{composants} = \sum_{i} I_{composants,i} \quad (31)$$

Avec

$$I_{composants,i} = \sum_{k} I_{composants,k,i} \quad (32)$$

$$I_{composants,k,i} = \sum_{p} I_{p,k} \quad (33)$$

et

$$I_{p,k} = \frac{(I^{Production}_{p,k} + I^{Edification}_{p,k} + I^{Exploitation}_{p,k} + I^{Fin\ de\ vie}_{p,k} + I^{Module\ D}_{p,k})}{S_{ref}} \quad (34)$$

où

$I_{composants}$ = contribution des composants aux impacts totaux du bâtiment sur l'ensemble du cycle de vie (impact/m^2)

$I_{composants,i}$= contribution des composants du lot i aux impacts du bâtiment sur l'ensemble du cycle de vie (impact/m^2)

$I_{composants,k,i}$= contribution des composants du sous lot k du lot i aux impacts du bâtiment sur l'ensemble du cycle de vie (impact/m^2)

$I_{p,k}$= Contribution d'un composant p du sous lot k aux impacts du bâtiment sur l'ensemble du cycle de vie (impact/m^2)

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.2.1.2 Calcul dynamique de l'impact sur le changement climatique

Dans la méthode dynamique, les impacts des émissions des gaz à effet de serre issues des données environnementales sont pondérés par un coefficient de pondération dont la valeur est dépendante de la date des émissions.

L'ensemble de ces coefficients de pondération constitue la fonction f définie pour x entier naturel variant de 0 à 50. Le pas de temps pour la pondération est donc d'une année. Dans la méthode, deux fonctions sont principalement utilisées, $f_{CO2}\ ou\ f$ dans la suite pour l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre à l'exception des fluides frigorigènes, et f_{ff}pour les fluides frigorigènes. Ces coefficients sont disponibles à l'article 11 du présent arrêté.

La méthode dynamique décrite ici est une méthode simplifiée. Les facteurs de pondération ne sont pas appliqués directement aux émissions des différents gaz à effet de serre mais au potentiel de réchauffement climatique indiqué dans la déclaration environnementale considérée (exprimé en kg eq CO_2) résultant de ces émissions. Ainsi, les facteurs de pondération du CO_2 sont appliqués quel que soit le gaz émis. Par ailleurs, la chronologie du cycle de vie est ainsi définie : toutes les émissions liées à la mise à disposition initiale des composants sont réputées avoir lieu à t=0 et toutes les émissions liées à la gestion de fin de vie des déchets de démolition sont réputées avoir lieu à t=PER.

Hormis les éléments précisés dans la suite du chapitre 4.2.1.2, l'ensemble des règles et principes du calcul statique s'appliquent au calcul dynamique. En particulier, les règles d'affectation utilisées pour les lots 13 et 8.5 s'appliquent de la même façon au calcul dynamique.

4.2.1.2.1 Calcul de la contribution d'un composant p aux impacts

Cas des composants dont DVE≥PER

Les émissions de la production et de l'édification sont par convention considérées émises à t=0. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à t=0. Ce facteur étant égal à 1, pour la production et l'édification, les impacts dynamiques sont égaux aux impacts statiques.

Les émissions de la phase d'exploitation sont par convention considérées émises régulièrement chaque année. On divise donc l'émission totale du composant p pendant la phase d'exploitation par la durée de vie estimée du composant pour obtenir une émission annualisée que l'on pondère, par le coefficient de pondération correspondant à l'année a. On somme ensuite l'ensemble des impacts annuels sur l'ensemble de la PER.

$$Ic_p^{Exploitation} = Q_p \times \sum_{a=1}^{PER} \left(\frac{DE_p^{Exploitation}}{DVE} \times f_{CO2}(a)\right) \quad (35)$$

Les émissions de la fin de vie et pour le module D sont par convention considérées émises à t=PER. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à t=PER.

$$Ic_p^{Fin\ de\ vie} = Q_p \times DE_p^{Fin\ de\ vie} \times f_{CO2}(PER) \quad (36)$$

$$Ic_{p,}^{Module\ D} = Q_p \times DE_p^{ModuleD} \times f_{CO2}(PER) \quad (37)$$

Cas des composants dont DVE<PER

Comme dans le cas précédent, les émissions de la production et de l'édification du produit initialement mis en œuvre sont par convention considérées émises à t=0. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à t=0. Ce facteur étant égal à 1, pour la production et l'édification, les impacts dynamiques sont égaux aux impacts statiques.

Pour le calcul de l'impact de la phase d'exploitation du bâtiment, la définition de paramètres supplémentaires est nécessaire :

- α correspondant au nombre de cycles de vie complets du composant incluse dans la période d'étude de référence.

$$\alpha = partie\ entière\left(\frac{PER}{DVE_p}\right) \tag{38}$$

- F_{Util} correspondant à la fraction de cycle de vie du composant, postérieure au dernier remplacement et incluse dans la période d'étude de référence

$$F_{Util} = \frac{PER}{DVE_p} - \alpha \tag{39}$$

Les émissions de la phase d'exploitation de tous les produits sont considérées comme étant émises régulièrement chaque année (terme β_1) et les émissions liées à leur remplacement (phase de fin de vie des produits remplacés, phases de production et d'édification des produits les remplaçant) sont considérées comme étant émises à la date du remplacement (terme β_2). On peut alors calculer les impacts des émissions de la phase d'exploitation du bâtiment avec les formules suivantes :

$$\beta_1 = \sum_{a=1}^{PER} \frac{DE_p^{Exploitation}}{DVE_p} \times f_{CO2}(a) \tag{40}$$

$$\beta_2 = \left[\left(DE_p^{Production} + DE_p^{Edification} + DE_p^{Fin\ de\ vie}\right) \times \left[\sum_{r=1}^{\alpha-1} f_{CO2}\left(DVE_p \times r\right) + F_{Util} \times f_{CO2}\left(DVE_p \times \alpha\right)\right]\right] \tag{41}$$

$$Ic_p^{Exploitation} = Q_p \times (\beta_1 + \beta_2) \tag{42}$$

Les émissions de la fin de vie du produit, lors de la fin de vie du bâtiment sont par convention considérées émises à t=PER.

$$I_p^{Fin\ de\ vie} = Q_p \times DE_p^{Fin\ de\ vie} \times f_{CO2}(PER) \tag{43}$$

Pour le module D, avec une logique similaire, on calcule :

$$Ic_p^{Module\ D} = Q_p \times DE_p^{Module\ D} \times \left[\sum_{r=1}^{\alpha-1} f_{CO2}\left(DVE_p \times r\right) + F_{Util} \times f_{CO2}\left(DVE_p \times \alpha\right) + f_{CO2}(PER)\right] \tag{44}$$

Où

$Ic_p^{PhaseCV}$ = contribution du composant p aux impacts de la phase du cycle de vie considérée

Q_p = quantité utilisée du composant p (en multiple de l'unité fonctionnelle utilisée dans la donnée environnementale associée)

$DE_p^{PhaseCV}$ = valeur de l'impact du composant p par unité fonctionnelle pour la phase du cycle de vie considérée

DVE_p= Durée de vie estimée du produit (par défaut égale à la durée de vie de référence (DVR) du produit)

$f_{CO2}(a)$ = coefficient de pondération des impacts d'une émission de gaz à effet de serre émise à t=a.

Cas des bâtiments multiusages

Les règles d'affectation des composants aux éventuelles entités programmatiques ne sont pas modifiées par le calcul dynamique.

4.2.1.2.2 Calcul spécifique aux fluides frigorigènes

Comme expliqué précédemment, des émissions directes de fluides frigorigènes ont lieu, à l'échelle du produit en phase de production (module A3), d'exploitation (module B1 quand il est correctement renseigné) et fin de vie (module C4).

Pour la fin de vie, les calculs précédents (voir 4.2.1.2.1) ont déjà pondéré les émissions de fluides frigorigènes (en même temps que les autres émissions de GES) avec le facteur de pondération du CO_2. Il faut donc apporter un correctif à ce calcul pour associer le bon facteur de pondération dynamique aux émissions de fluides frigorigènes. Pour la production, aucun correctif n'est nécessaire car les facteurs de pondération à t=0 sont tous égaux à 1 quel que soit le gaz à effet de serre.

Pour la phase d'exploitation, pour le calcul dynamique des impacts des fluides frigorigènes, deux cas sont à distinguer :

- Cas 1 : les équipements du bâtiment sont associés à des PEP dont le module B n'est pas détaillé ou à des DED (cf 4.2.2.2.2),
- Cas 2 : les équipements du bâtiment sont associés à des PEP dont le module B est détaillé.

Pour l'approche dynamique, en phase exploitation, on va donc pour chaque cas devoir distinguer : les émissions directes récurrentes liées aux fuites (module B1 pour le bâtiment), les émissions directes ponctuelles de fluide liées aux remplacements des équipements durant la PER (module B4 du bâtiment) (fin de vie de l'ancien équipement et production du nouveau).

Dans les deux cas, les données d'entrée suivantes sont à considérer :

Ch_i = Charge initiale du composant p en fluide i.

f_{ff} = fonction fournissant les coefficients de pondération dynamique pour les fluides frigorigènes

f_{CO2} = la fonction fournissant les coefficients de pondération dynamique pour le CO_2

PRG_i = valeur du PRG à 100 ans du fluide i

$T_{Production}$= taux de fuite lié à la production (%) (2%, donnée conventionnelle non modifiable)

$T_{Exploitation}$= taux de fuite lié à la phase d'exploitation (%) (2%, donnée conventionnelle non modifiable)

$T_{Fin\ de\ vie}$ = taux de perte en fluide en fin de vie (%) (10%, donnée conventionnelle non modifiable)

Dans les deux cas, on considère aussi que les composants ont une durée de vie inférieure à la période d'étude de référence.

Cas 1 – calcul de $Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation}$ et $Ic_p^{Exploitation}$

Dans ce cas, $Ic_p^{Exploitation}$ calculé précédemment n'intègre pas d'émissions de fluides frigorigènes liés à l'exploitation de l'équipement (module B non disponible ou non pris en compte). Pour les fuites « régulières », on applique simplement la formule suivante :

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{B1} = T_{Exploitation} \times Ch_i \times PRG_i \times \sum_{a=1}^{PER} f_{ff}(a)} \quad (45)$$

Le calcul dynamique nécessite le calcul de $Ic_{fluide\ i}^{B4}$ correspondant à l'application d'un facteur correctif sur le calcul des impacts relatifs aux émissions de fluide frigorigène lors des remplacements des composants (fuites lors de la production du nouveau composant et la fin de vie de l'ancien). En effet, le calcul général de la phase d'exploitation du bâtiment contient déjà les impacts de production et de fin de vie du composant p liés à ses renouvellements. Il convient donc, comme précédemment, d'associer un correctif avec le bon facteur de pondération à chaque renouvellement du composant. Les émissions à corriger concernent celles relatives à la production du nouveau composant et à la fin de vie du composant remplacé.

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{B4} = (T_{Production} + T_{Fin\ de\ vie}) \times Ch_i \times PRG_i \times \gamma_{B4}} \quad (46)$$

Avec

$$\gamma_{B4} = \sum_{r=1}^{\alpha-1}[f_{ff}(DVE_p \times r) - f_{CO2}(DVE_p \times r)] + F_{Util} \times [f_{ff}(DVE_p \times \alpha) - f_{CO2}(DVE_p \times \alpha)] \quad (47)$$

Et en sommant les deux termes

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{Exploitation} = Ic_{fluide\ i}^{B1} + Ic_{fluide\ i}^{B4}} \quad (48)$$

$$\boldsymbol{Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{EXP}} \quad (49)$$

On a alors

$$Ic_p^{Exploitation} = Q_p \times (\beta_1 + \beta_2 + Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation}) \quad (50)$$

Cas 1 – calcul de $\boldsymbol{Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie}}$ et $\boldsymbol{Ic_p^{Fin\ de\ vie}}$

Puisque l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre en fin de vie ont déjà été pondérées par le facteur de pondération du CO_2, il faut apporter un correctif pour pondérer les émissions de fluide frigorigène par le bon facteur. En suivant le même raisonnement que précédemment, on obtient les formules suivantes :

Pour chaque fluide

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{Fin\ de\ vie} = T_{Fin\ de\ vie} \times Ch_i \times PRG_i \times (f_{ff}(PER) - f_{CO2}(PER))} \quad (51)$$

$$\boldsymbol{Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{Fin\ de\ vie}} \quad (52)$$

$$Ic_p^{Fin\ de\ vie} = Q_p \times (DE_p^{Fin\ de\ vie} \times f_{CO2}(PER) + Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie}) \quad (53)$$

Cas 2 – calcul de $\boldsymbol{Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation}}$

Comme précédemment, on calcule la contribution des fuites liées à l'utilisation des équipements, en considérant cette fois que les impacts relatifs aux fuites régulières de fluides frigorigènes sont consignés dans le module B1 de la donnée environnementale du composant. On applique alors un correctif puisque ces émissions ont déjà été pondérées du facteur de pondération du CO_2.

$$Ic_{fluide\ i}^{B1} = \frac{DE_p^{B1}}{DVE_p} \times \sum_{a=1}^{PER} (f_{ff}(a) - f_{CO2}(a)) \tag{54}$$

On calcule ensuite un correctif aux émissions liées à la fin de vie des équipements remplacés :

$$\boldsymbol{\gamma_{B4}} = \sum_{r=1}^{\alpha-1} [\boldsymbol{f_{ff}(DVE_p \times r) - f_{CO2}(DVE_p \times r)}] + \boldsymbol{F_{Util}} \times (\boldsymbol{f_{ff}(DVE_p \times \alpha) - f_{CO2}(DVE_p \times \alpha)}) \tag{55}$$

La charge en fluide du composant p peut être estimée par $\frac{DE_p^{B1}}{T_{exploitation} \times PRG_i \times DVE_p}$.

Cette charge est ensuite à multiplier par les taux de fuite en production et en fin de vie et par le facteur de caractérisation PRG_i du fluide considéré. On applique enfin le facteur correctif habituel, ce qui donne :

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{B4} = (T_{Production} + T_{Fin\ de\ vie}) \times \frac{DE_p^{B1}}{T_{exploitation} \times DVE_p} \times \gamma_{B4}} \tag{56}$$

Et en sommant les deux termes

$$Ic_{fluide\ i}^{Exploitation} = Ic_{fluide\ i}^{B1} + Ic_{fluide\ i}^{B4} \tag{57}$$

$$Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{Exploitation} \tag{58}$$

Et on a toujours

$$\boldsymbol{Ic_p^{Exploitation} = Q_p \times (\beta_1 + \beta_2 + Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation})} \tag{59}$$

Cas 2 – calcul de $\boldsymbol{Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie}}$ et $\boldsymbol{Ic_p^{Fin\ de\ vie}}$

En suivant la même logique que précédemment ; pour chaque fluide, on obtient :

$$\boldsymbol{Ic_{fluide\ i}^{Fin\ de\ vie} = T_{fin\ de\ vie} \times \frac{DE_p^{B1}}{T_{Exploitation} \times DVE_p} \times (f_{ff}(PER) - f_{CO2}(PER))} \tag{60}$$

$$Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{FDV} \tag{61}$$

$$Ic_p^{Fin\ de\ vie} = Q_p \times (DE_p^{Fin\ de\ vie} \times f_{CO2}(PER) + Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie}) \tag{62}$$

4.2.1.2.3 Calcul des impacts par phase du cycle de vie et à chaque échelle

Les intégrations au niveau des sous-lots, lots, entités programmatiques puis bâtiment ou les intégrations par phase du cycle de vie sont équivalentes à la méthode statique. En particulier, les formules du 4.2.1.1.8 sont applicables.

4.2.2 CALCUL SIMPLIFIE DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES COMPOSANTS

4.2.2.1 Calcul statique

Lors d'une modélisation simplifiée de la contribution «Composants», des valeurs forfaitaires conventionnelles peuvent être utilisées pour certains lots ou sous-lots.
Ces valeurs par destination d'usage du bâtiment, par lot, éventuellement par sous-lot et par phase du cycle de vie sont mises à disposition publiquement et sont notées $I^{PhaseCV}_{forfait,usage,k}$
Pour les lots ou sous lots disposant de valeurs forfaitaires par phase du cycle de vie, celles-ci remplacent le calcul des contributions aux impacts des lots et sous lots prévu dans la méthode détaillée.
Pour chaque lot ou sous-lot k, pris en compte de façon forfaitaire, on a donc

$$I^{PhaseCV}_{composants,k} = I^{PhaseCV}_{forfait,usage,k}. \quad (63)$$

$I^{PhaseCV}_{forfait,usage,k}$ correspond aux valeurs forfaitaires des impacts du lot (ou sous-lot) k pour la phase du cycle de vie considérée pour l'usage du bâtiment spécifié.

Si les lots ou les sous-lots comportant les équipements contenant des fluides frigorigènes sont traités de manière forfaitaire, l'impact des fluides frigorigènes est calculé comme dans la méthode détaillée (voir 4.2.1.1.6) car la valeur forfaitaire d'un lot peut être traitée similairement à une donnée environnementale par défaut. Cet impact est ajouté aux valeurs forfaitaires des impacts des lots ou sous-lots correspondant.

4.2.2.2 Calcul dynamique

4.2.2.2.1 Principes

Des valeurs spécifiques à l'approche dynamique sont fournies pour chacun des lots et sous lots potentiellement concernés par l'approche simplifiée, pour l'indicateur portant sur l'impact sur le changement climatique. On a de nouveau :

$$Ic^{PhaseCV}_{Composants,k} = Ic^{PhaseCV}_{forfait,usage,k}. \quad (64)$$

Toutefois, ce sont les valeurs des impacts dynamiques forfaitaires qui sont utilisées.

Pour le reste, le calcul simplifié dynamique est équivalent au calcul détaillé.

4.2.2.2.2 Calcul spécifique aux fluides frigorigènes

Les deux cas présentés précédemment restent valables si les lots ou les sous-lots comportant les équipements contenant des fluides frigorigènes ne sont pas traités forfaitairement.

Un troisième cas est à ajouter si les lots ou les sous-lots comportant les équipements contenant des fluides frigorigènes sont traités forfaitairement.

Cas 3 – calcul de $Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation}$

Comme précédemment, on calcule d'abord la contribution des fuites liées à la maintenance (recharges et remplacements).

On pondère les fuites annuelles par le facteur de correction dynamique. La fonction des facteurs de correction des fluides frigorigènes est utilisée pour tous les fluides autres que le CO_2.

$$Ic_{fluide\ i}^{B1} = T_{Exploitation} \times Ch_i \times PRG_i \times \sum_{a=1}^{PER} f_{ff}(a) \quad (65)$$

On calcule ensuite les émissions liées à la fin de vie des équipements remplacés en pondérant les émissions lors de chaque remplacement par le facteur de correction correspondant à la date du remplacement

$$Ic_{fluide\ i}^{B4} = (T_{Production} + T_{Fin\ de\ vie}) \times Ch_i \times PRG_i \times \gamma_{B4} \quad (66)$$

Avec

$$\gamma_{B4} = \sum_{r=1}^{\alpha-1} [f_{ff}(DVE_p \times r) + F_{Util} \times f_{ff}(DVE_p \times \alpha)] \quad (67)$$

Par défaut $DVE_p = 17\ ans$

Et en sommant les deux termes, on obtient :

$$Ic_{fluide\ i}^{Exploitation} = Ic_{fluide\ i}^{B1} + Ic_{fluide\ i}^{B4} \quad (68)$$

$$Ic_{fluides\ frigo}^{Exploitation} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{Exploitation} \quad (69)$$

Cas 3 – calcul de $Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie}$

Pour chaque fluide frigorigène, on a :

$$Ic_{fluide\ i}^{Fin\ de\ vie} = T_{Fin\ de\ vie} \times Ch_i \times PRG_i \times f_{ff}(PER) \quad (70)$$

Et on peut finalement calculer

$$Ic_{fluides\ frigo}^{Fin\ de\ vie} = \sum_i Ic_{fluide\ i}^{Fin\ de\ vie} \quad (71)$$

4.3 CALCUL DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE

Cette contribution n'a des impacts que pour la phase d'exploitation. Il n'y a pas de calcul simplifié pour cette contribution.

4.3.1 CALCUL STATIQUE DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE

La contribution aux impacts des consommations d'énergie du bâtiment peut être calculée avec la formule suivante :

$$I_{énergie} = \frac{1}{S_{ref}} \sum_i \sum_k (Cef_{i,k} \times DE_{i,k} \times PER) \quad (72)$$

Où :

- $I_{Energie}$= Contribution aux impacts des consommations d'énergie du bâtiment pour tout le cycle de vie(somme sur les usages et sur les différents types d'énergie consommée) (Impact/m^2)
- S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)
- $Cef_{i,k}$= Quantité d'énergie i importée consommée annuellement par le bâtiment pour l'usage k de l'énergie, déterminée suivant la méthode spécifiée au 3. de la présente annexe, et dans les annexes III et IV du présent arrêté,
- $DE_{i,k}$= Impact issu de la donnée environnementale de mise à disposition de l'énergie i par kWh consommé pour l'usage k,
- PER = Période d'étude de référence du bâtiment en années.

A titre d'exemple, les $Cef_{i,k,}$ peuvent représenter la quantité d'électricité du réseau utilisée pour le chauffage, la quantité de gaz utilisée pour l'eau chaude, la quantité d'électricité du réseau utilisée pour l'éclairage, etc.

Notes : Pour les combustibles, la donnée environnementale de mise à disposition de l'énergie i couvre la mise à disposition du combustible jusqu'au bâtiment (par unité d'énergie consommée) et les données de combustion (par unité d'énergie consommée).

A partir de $I_{énergie}$, on peut calculer :

$$I_{énergie\_annuel} = \frac{I_{énergie}}{PER} \quad (73)$$

Cet indicateur s'exprime en (Impact/m^2/an).

4.3.2 CALCUL DYNAMIQUE DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES CONSOMMATIONS D'ENERGIE

Pour cette contribution, le calcul dynamique consiste à pondérer les émissions annuelles de gaz à effet de serre par le facteur de pondération du CO_2 correspondant. Ce calcul n'est valable que pour les émissions de gaz à effet de serre, cette formule n'est donc pas vectorielle :

$$Ic_{énergie} = \frac{1}{S_{ref}} \sum_i \sum_k [Cef_{i,k} \times DE_{i,k} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a)] \quad (74)$$

Où :

- $Ic_{énergie}$= Contribution aux impacts des consommations d'énergie pour tout le cycle de vie du bâtiment (somme sur les usages et sur les différents types d'énergie consommée) (kg $CO_{2\ eq}$/m^2)
- S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)
- $Cef_{i,k}$= Quantité d'énergie i importée consommée annuellement par le bâtiment pour l'usage k de l'énergie , déterminée suivant la méthode spécifiée au 3. de la présente annexe, et dans les annexes III et IV du présent arrêté,
- $DE_{i,k}$= Emissions de gaz à effet de serre (en kg eq CO_2) issue de la donnée environnementale de mise à disposition de l'énergie consomméei par kWh pour l'usage k,

- PER = Période d'étude de référence du bâtiment en années
- f_{CO2}= fonction de pondération dynamique des émissions de CO_2

A partir de $Ic_{énergie}$, on peut calculer :

$$Ic_{énergie\_annuel} = \frac{1}{S_{ref}} \sum_i \sum_k [Cef_{i,k} \times DE_{i,k} \times f_{CO2}(a)] \quad (75)$$

Cet indicateur s'exprime en (kg CO_2 eq/m^2/an).

Cas d'un bâtiment multiusage

Pour la contribution aux impacts des consommations d'énergie, dans le cas d'un bâtiment multiusage, la méthode de calcul énergétique permet d'affecter les consommations d'énergie à chaque entité programmatique. Les formules précédentes sont dans ce cas appliquées à une entité programmatique en ne conservant que les consommations relatives à cette entité.

4.4 CALCUL DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DES CONSOMMATIONS ET REJETS D'EAU

4.4.1 CALCUL DETAILLE

4.4.1.1 Calcul statique

4.4.1.1.1 Principes de calcul

La contribution aux impacts des consommations et rejets d'eau couvre :

- les impacts de la potabilisation de l'eau consommée par un bâtiment,
- les impacts du traitement des eaux usées et de la gestion des eaux pluviales reçues sur la parcelle.

Les quantités d'eau potable consommées prises en compte correspondent aux quantités consommées par les équipements entrants dans le périmètre de l'ACV du bâtiment.

Les quantités d'eaux usées ou pluviales prises en compte correspondent aux quantités rejetées par les équipements entrants dans le périmètre de l'ACV du bâtiment.

Les quantités d'eau potables consommées pour des usages relatifs à l'entretien de la parcelle sont considérées dans le calcul de la contribution de la parcelle.

Les consommations d'eau potable prises en compte dans cette contribution correspondent donc aux usages internes et classiques de l'eau dans le bâtiment ($Q_{eau\ potable}$).

Les autres consommations d'eau potable sont intégrées à la contribution de la Parcelle.

4.4.1.1.2 Calcul de la quantité d'eau potable consommée et impacts associés

La quantité d'eau potable consommée par le bâtiment et prise en compte dans cette contribution est calculée sur la base d'une consommation conventionnelle d'eau potable établie par type de bâtiment. Cette valeur conventionnelle annuelle est multipliée par la période d'étude de référence du bâtiment et un facteur correctif dépendant des équipements utilisés dans le bâtiment. Les consommations

d'eau potable pour l'arrosage des surfaces végétalisées sont ensuite ajoutées si le bâtiment comprend ce type de systèmes.

$$Q_{eau\ potable} = Q_{eau\ potable\ conv} \times Nocc \times F_{équipements} + Q_{bâtiment,eau\ \ arrosage} - Q_{eau\ pluie} \quad (76)$$

Où :

$Q_{eau\ potable}$= Quantité annuelle d'eau potable correspondant aux usages internes et classiques de l'eau dans le bâtiment (m^3/an)

$Q_{eau\ potable\ conv}$= Quantité conventionnelle d'eau potable consommée annuellement pour tous les usages internes et classiques du bâtiment (en m^3/an/occupant), hors arrosage de la parcelle et usages particuliers. Cette quantité est dépendante de la typologie du bâtiment. Les valeurs de cette consommation conventionnelle est fournie dans le Tableau 7.

$F_{équipements}$= Facteur de correction de la consommation conventionnelle en fonction des équipements disponibles dans le bâtiment. Le calcul de ce facteur de correction est dépendant de la typologie. Son calcul est présenté ci-dessous.

$Q_{eau\ pluie}$= Quantité annuelle d'eau de pluie utilisée pour les usages intérieurs et l'arrosage des toitures et murs végétalisés (m^3/an) (par défaut 0)

$Nocc$ =nombre d'occupants du bâtiment (il s'agit d'une donnée conventionnelle voir 5.2.3)

Type de bâtiment	$Q_{eau\ potable\ conv}$	Unité
Résidentiel	48	m3/occupant/an
Bureaux	5,59	m3/employé/an
Enseignement	1,44	m3/élève/an

Tableau 7 – Quantité conventionnelle d'eau potable consommée annuellement par les utilisateurs des bâtiments

$Q_{bâtiment,eau\ arrosage}$ = quantité annuelle d'eau nécessaire à l'arrosage des toitures et murs végétalisés (m^3/an). Elle est calculée avec la formule suivante :

$$Q_{bâtiment,eau\ arrosage} = S_{végétalisée} \times n_{eau\ arrosage} \times n_{arrosages} \quad (77)$$

Où

$S_{végétalisée}$ = Surface de murs et toitures végétalisés (m^2)

$n_{eau\ arrosage}$= Quantité d'eau consommée à chaque arrosage (m^3/m^2) (valeur conventionnelle 0,0033)

$n_{arrosages}$= Nombre annuel d'arrosages (valeur conventionnelle 20)

La contribution des consommations d'eau potable aux impacts de la phase exploitation est alors calculée par la formule :

$$I^{Exploitation}_{eau,eau\ potable} = Q_{eau\ potable} \times DE_{eau\ potable} \times PER \quad (78)$$

Où

$I_{eau,eau\ potable}^{Exploitation}$= Contribution des consommations d'eau potable aux impacts environnementaux de la phase d'exploitation du bâtiment

$DE_{eau\ potable}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de la mise à dispostion de 1 m^3 d'eau potable.

Calcul de $F_{équipements}$

Le facteur de correction $F_{équipements}$ est obtenu grâce à la formule :

$$F_{équipement} = 1 - \sum_{p} (1 - F_p) \times T_p \quad (79)$$

Avec :

T_p= taux ou proportion d'un équipement p dans le bâtiment lorsque plusieurs équipements différents concourent à un même usage. Sinon T_p= 1 .

F_p=facteur de correction lié à l'équipement p défini dans le Tableau 8, le Tableau 9 ou le Tableau 10. Ces facteurs de correction sont des données conventionnelles.

Exemple : si dans un bâtiment de bureaux, pour l'usage WC, on a 20 urinoirs et 30 WC avec chasse d'eau double flux 3L/6L, $T_{urinoirs}$= 0,4 et T_{chasse_eauDF}= 0,6.

Typologie Bâtiment	Equipement	Caractéristique /scénario	Facteur de correction (Fp)
Enseignement – utilisation eau de pluie interdite à l'intérieur des bâtiments (crèches, écoles maternelles et élémentaires)	Robinet lavabo avec régulateur de débit	Débit : 5 L/min	0,91
	Chasse d'eau double flux 3L / 6L	3L (petit débit) / 6L (grand débit) - petit débit utilisé dans 67% des cas	0,75
	Chasse d'eau double flux 2L / 4L	2L (petit débit) / 4L (grand débit) petit débit utilisé dans 67% des cas	0,58
	Urinoir	Remplace la chasse d'eau à 67%	0,58
Enseignement – utilisation eau de pluie autorisée à l'intérieur des bâtiments	Robinet lavabo avec régulateur de débit	Débit : 5 L/min	0,91
	Chasse d'eau double flux 3L / 6L	3L (petit débit) / 6L (grand débit) - petit débit utilisé dans 67% des cas	0,75
	Chasse d'eau double flux 2L / 4L	2L (petit débit) / 4L (grand débit) petit débit utilisé dans 67% des cas	0,58
	Urinoir	Remplace la chasse d'eau à 67%	0,58

Tableau 8 - facteurs conventionnels de correction des équipements pour le calcul des consommations d'eau des bâtiments d'enseignement

Typologie Bâtiment	Equipement	Caractéristique /scénario	Facteur de correction (Fp)
Bureaux	Robinet lavabo avec régulateur de débit	Débit : 5 L/min	0,86
	Chasse d'eau double flux 3L / 6L	3L (petit débit) / 6L (grand débit) - petit débit utilisé dans 67% des cas	0,77
	Chasse d'eau double flux 2L / 4L	2L(petit débit) / 4L(grand débit) petit débit utilisé dans 67% des cas	0,62
	Urinoir	Remplace la chasse d'eau à 67%	0,61

Tableau 9 – facteurs conventionnels de correction des équipements pour le calcul des consommations d'eau des bâtiments de bureaux

Typologie Bâtiment	Equipement	Caractéristique /scénario	Facteur de correction (Fp)
Résidentiel	Robinet évier avec régulateur de débit	Débit : 6 L/min	0,94
	Robinet lavabo avec régulateur de débit	Débit : 5 L/min	0,97
	Douche économe en eau	Débit : 8 L/min	0,80
	Chasse d'eau double flux 3L / 6L	3L (petit débit) / 6L (grand débit) - petit débit utilisé dans 67% des cas	0,96
	Chasse d'eau double flux 2L / 4L	2L (petit débit) / 4L (grand débit) petit débit utilisé dans 67% des cas	0,93
	Toilettes sèches pour les maisons individuelles ou accolées uniquement	Pas de chasse d'eau	0,87
	distance point de puisage ECS – point utilisation	inferieure à 8m	0,98

Tableau 10 – facteurs conventionnels de correction des équipements pour le calcul des consommations d'eau des bâtiments résidentiels

4.4.1.1.3 Calcul de la quantité d'eaux usées rejetées et impacts associés

La quantité d'eaux usées rejetées est égal à la quantité d'eau potable consommée plus l'eau de pluie consommée dans des usages intérieurs moins l'eau potable utilisée pour l'arrosage des surfaces végétalisées (hors parcelle) :

$$Q_{eaux\ usées} = Q_{eau\ potable} + Q_{eau\ pluie\ usages\ intérieurs} - F_{eau\ utile} \times Q_{bâtiment,eau\ arrosage} \quad (80)$$

Où

$Q_{eaux\ usées}$= Quantité annuelle d'eaux usées rejetées (m^3/an)

$Q_{eau\ potable}$= Quantité annuelle d'eau potable correspondant aux usages internes et classiques de l'eau dans le bâtiment (m^3/an)

$Q_{eau\ pluie\ usages\ intérieurs}$= Quantité annuelle d'eau de pluie utilisée pour les usages intérieurs du bâtiment (rejoignant ensuite les eaux usées). Par défaut, ce paramètre est pris égal à 0 (m^3/an)

$Q_{bâtiment,eau\ arrosage}$= Quantité d'eau destinée à l'arrosage des toitures et murs végétalisées (m^3/an)

$F_{eau\ utile}$ = fraction d'eau d'arrosage utilisée par les végétaux ou évaporée (valeur conventionnelle 0,5)

On peut alors calculer :

$$I_{eau,eaux\ usées}^{Exploitation} = \boldsymbol{Q_{eaux\ usées} \times DE_{assainissement} \times PER} \quad (81)$$

Où

$I_{eau,eaux\ usées}^{Exploitation}$= Contribution des rejets d'eaux usées aux impacts environnementaux de la phase d'exploitation du bâtiment

$DE_{assainissement}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de l'assainissement de 1 m^3 d'eaux usées.

PER= période d'étude de référence du bâtiment (années)

Concernant l'assainissment, il peut s'agir d'un assainissement collectif (AC), on a alors :

$$DE_{assainissement}=DE_{assainissementAC} \quad (82)$$

ou d'un assainissement non collectif (ANC), dans ce cas, on a :

$$DE_{assainissement}=DE_{assainissementANC} \quad (83)$$

Les composants du bâtiment et de la parcelle relatifs à l'assainissement non collectif sont pris en compte dans la contribution « composants ». Pour éviter tout double comptage avec $DE_{assainissementANC}$ les modules B1 à B7 des données environnementales de ces composants ne sont pas considérés dans le calcul de la contribution composants.

4.4.1.1.4 Calcul de la quantité d'eaux pluviales rejetées et impacts associés

Les impacts relatifs à la gestion des eaux pluviales sont calculés comme les autres contributions en multipliant la quantité d'eaux pluviales collectées annuellement par la période d'étude de référence et la donnée environnementale conventionnelle correspondante.

$$I_{eau,eaux\ pluviales}^{Exploitation} = \boldsymbol{Q_{eaux\ pluviales} \times DE_{eaux\ pluviales} \times PER} \quad (84)$$

Où

$Q_{eaux\ pluviales}$= Quantité annuelle des eaux pluviales reçues sur les toitures, couvertures d'aires de stationnement et aires de stationnement imperméabilisées non couvertes, ayant ruisselé et devant être infiltrées sur place ou collectées dans un réseau, en m^3/an,

$DE_{eaux\ pluviales}$ = Donnée envrionnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de l'assainissment de 1 m^3 d'eaux pluviales. Cette donnée dépend du type de gestion des eaux pluviales.

Pour la gestion des eaux pluviales, trois cas peuvent se présenter :

- Gestion des eaux pluviales à l'échelle de la parcelle du bâtiment par infiltration (puits perdus, noues, etc.) ; l'eau de pluie est rendue au milieu naturel *in situ* et sans traitement ; Dans ce cas, $DE_{eaux\ pluviales} = 0$.
- Collecte et traitement via un réseau séparatif, sauf cas spécifiques, les eaux de pluie (provenant notamment des toitures non accessibles) sont rendues au milieu naturel sans traitement ($DE_{eaux\ pluviales} = 0$)
- Collecte et traitement via un réseau unitaire ; les eaux usées et les eaux pluviales sont acheminées ensemble vers une station d'épuration en assainissement collectif (AC) $DE_{eaux\ pluviales}$= $DE_{assainissementAC}$

$Q_{eaux\ pluviales}$ ne doit donc être estimée que dans le cas d'un traitement via un réseau unitaire. Pour cette contribution, on peut calculer cette quantité en multipliant la pluviométrie moyenne annuelle du site par les surfaces de toitures/couvertures (bâtiments et parkings couverts) et les surfaces imperméabilisées de la parcelle occupées par des parkings et non couvertes.

$$Q_{eaux\ pluviales} = \frac{Q_{pluviométrie}}{1000} \times (S_{toitures} + S_{parkings\ imperméabilisés\ non\ couverts}) \quad (85)$$

Où

$Q_{pluviométrie}$= pluviométrie moyenne annuelle du site (mm d'eau/an soit L/m^2/an)

$S_{toitures}$= surfaces de toitures/couvertures (bâtiments et aires de stationnement couvertes) (m^2)

$S_{parkings\ imperméabilisés\ non\ couverts}$= surfaces imperméabilisées de la parcelle occupées par des aires de stationnement non couvertes (m^2)

Note : Les eaux issues du ruissellement des eaux d'arrosage et de lavage des voies publiques et privées, des cours d'immeubles, des aires de stationnement découvertes sont assimilées par la réglementation à des eaux pluviales devant être traitées (dans ce cas $DE_{eaux\ pluviales} \neq 0$) et considérées comme des eaux usées et associées à une donnée environnementale d'assainissement.

$DE_{assainissementAC}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts envrionnementaux de l'assainissment collectif (AC) de 1 m^3 d'eaux usées.

Pour chacun de ces 3 cas, une partie des eaux de pluie (provenant notamment des toitures non accessibles) peut être collectée en vue d'une utilisation pour les usages domestiques autorisés par la réglementation (cf. arrêté du 21 août 2008 sur l'utilisation des eaux de pluie) (voir paragraphe précédent). Les impacts environnementaux liés aux composants nécessaires à la récupération de l'eau de pluie sont inclus dans le lot 9 - Plomberie-sanitaire de la contribution « composants » (système de récupération, pompe, réseaux dédiés, etc.). Les impacts environnementaux des composants du bâtiment liés à la gestion de l'eau de pluie par un réseau unitaire ou séparatif sont inclus dans le lot 1 VRD de la contribution composants.

4.4.1.1.5 Calcul des impacts environnementaux de la contribution de l'eau

A partir des paramètres précédents, la contribution de l'eau aux impacts environnementaux (I_{Eau}) est calculée selon la formule suivante :

$$I_{eau} = I_{eau}^{Exploitation} = \frac{I_{eau,eau\ potable}^{Exploitation} + I_{eau,eaux\ usées}^{Exploitation} + I_{eau,eaux\ pluviales}^{Exploitation}}{S_{ref}} \quad (86)$$

I_{eau}= contribution de l'eau aux impacts environnementaux du bâtiment (Impact/m^2)

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.4.1.2 Calcul dynamique

4.4.1.2.1 Calcul de la quantité d'eau potable consommée et impacts associés

On reprend les mêmes notations que pour le calcul statique. Seul le calcul des impacts est modifié, et n'est valable que pour les émissions de gaz à effet de serre :

$$Ic^{Exploitation}_{eau,eau\ potable} = Q_{eau\ potable} \times DE_{eau\ potable} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a) \quad (87)$$

Où

$Q_{eau\ potable}$= Quantité annuelle d'eau potable correspondant aux usages internes et classiques de l'eau dans le bâtiment (m^3/an)

$DE_{eau\ potable}$= Donnée environnementale (émissions de GES uniquement) conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de la mise à disposition de 1 m^3 d'eau potable.

f_{CO2}= fonction de pondération dynamique des émissions de CO_2

4.4.1.2.2 Calcul de la quantité d'eaux usées rejetées et impacts associés

Le principe du calcul dynamique de ces impacts consiste à multiplier les quantités annuelles d'eaux usées pour les pondérer par le facteur de pondération annuel correspondant

$$Ic^{Exploitation}_{eaux,eaux\ usées} = Q_{eaux\ usées} \times DE_{assainissement} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a) \quad (88)$$

$Ic^{Exploitation}_{eaux,eaux\ usées}$= Contribution des rejets d'eaux usées aux impacts environnementaux de la phase d'exploitation du bâtiment

$Q_{eaux\ usées}$= Quantité annuelle d'eaux usées rejetées (m^3)/an

$DE_{assainissement}$= donnée environnementale (émissions de GES uniquement) conventionnelle correspondant aux impacts envrionnementaux de l'assainissment de 1 m^3 d'eaux usées

Comme pour le calcul statique, il peut s'agir d'un assainissement collectif (AC) $DE_{assainissement}$=$DE_{assainissementAC}$ ou d'un assainissement non collectif (ANC) $DE_{assainissement}$=$DE_{assainissementANC}$.

f_{CO2}= fonction de pondération dynamique des émissions de CO_2

4.4.1.2.3 Calcul de la quantité d'eaux pluviales rejetées et impacts associés

En utilisant la même logique que précédemment, on obtient la formule suivante :

$$Ic^{Exploitation}_{eau,eaux\ pluviales} = Q_{eaux\ pluviales} \times DE_{eaux\ pluviales} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a) \quad (89)$$

$Q_{eaux\ pluviales}$= Quantité annuelle des eaux pluviales reçues sur les toitures, couvertures d'aires de stationnement et aires de stationnement imperméabilisées non couvertes, ayant ruisselé et devant être infiltrées sur place ou collectées dans un réseau, en m^3/an,

$DE_{eaux\ pluviales}$ = Donnée envrionnementale (émissions de GES uniquement) conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de l'assainissment de 1 m^3 d'eaux pluviales. Cette donnée dépend du type de gestion des eaux pluviales.(voir calcul statique)

f_{CO2}= fonction de pondération dynamique des émissions de CO_2

Les autres règles de calcul sont identiques au calcul statique.

4.4.1.2.4 Calcul des impacts environnementaux de la contribution de l'eau

A partir des paramètres précédents, la contribution de l'eau aux impacts environnementaux par la méthode dynamique (Ic_{Eau}) est calculée selon la formule suivante :

$$Ic_{eau} = Ic_{eau}^{Exploitation} = \frac{Ic_{eau,eau\ potable}^{Exploitation} + Ic_{eau,eaux\ usées}^{Exploitation} + Ic_{eau,eaux\ pluviales}^{Exploitation}}{S_{ref}} \quad (90)$$

Ic_{eau}= contribution de l'eau aux impacts environnementaux du bâtiment calculée par la méthode dynamique (kg CO_2 eq/m^2)

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.4.2 CALCUL SIMPLIFIE

4.4.2.1 Calcul statique

La méthode de calcul simplifiée de la contribution de l'eau aux impacts environnementaux du bâtiment consiste à simplifier le calcul de la consommation d'eau potable en ne calculant aucun facteur de correction lié aux équipements et en négligeant l'eau potable utilisée pour arroser les toitures et murs végétalisés :

$$\boldsymbol{Q_{eau\ potable} = Q_{eau\ potable\ conv} \times Nocc} \quad (91)$$

et le calcul des rejets d'eau en simplifiant le calcul des quantités d'eaux usées :

$$Q_{eaux\ usées} = Q_{eau\ potable} \quad (92)$$

Dans la méthode simplifiée, il est tenu compte de la typologie du bâtiment, mais les dispositifs économes ne sont pas pris en compte. On ne considère pas non plus l'utilisation d'eau de pluie pour les usages autorisés. Le reste de la méthode reste identique à la méthode détaillée.

4.4.2.2 Calcul dynamique

Les formules du calcul dynamique simplifié de cette contribution sont identiques aux formules utilisées pour le calcul dynamique détaillé (voir 4.4.1.2). Toutefois, les calculs simplifiés des consommations d'eau potable et de rejets d'eaux usées doivent être utilisées à la place des calculs détaillés (voir 4.4.2.1).

4.5 CALCUL DE LA CONTRIBUTION AUX IMPACTS DU CHANTIER DE CONSTRUCTION

Pour cette contribution, le calcul statique et le calcul dynamique sont identiques. En effet, cette contribution n'a des impacts qu'en phase d'édification pour laquelle par convention les émissions ont toutes lieu à t=0, or $f_{CO2}(0) = 1$.

Seuls sont donc distingués les calculs détaillé et simplifié.

4.5.1 CALCUL DETAILLE

La contribution aux impacts environnementaux du chantier de construction du bâtiment intègre les impacts :

- des consommations d'énergie du chantier (base vie, grues et engins de chantier),
- des consommations et rejets d'eau du chantier,
- de l'évacuation et le traitement des déchets du terrassement
- des composants utilisés pour réaliser des ouvrages provisoires nécessaires au chantier ou pour protéger certaines parties de l'ouvrage pendant le chantier.

Les déplacements des acteurs du chantier pour se rendre sur le chantier ne sont pas pris en compte dans le calcul de cette contribution..

Les calculs suivants requièrent l'utilisation de données réelles relatives au projet. Une note de calcul doit expliquer comment ces données ont été collectées ou obtenues par calcul.

4.5.1.1.1 Calcul des impacts liés aux consommations d'énergie du chantier de construction

Les impacts liés aux consommations d'énergie sur le chantier sont calculés par la formule suivante :

$$\boldsymbol{I^{Edification}_{chantier,énergie} = \sum_{i} Q_{énergie,i} \times DE_{énergie,i}} \quad (93)$$

$I^{Edification}_{chantier,énergie}$= Impacts liés aux consommations d'énergie du chantier de construction (affectées à la phase d'édification du bâtiment)

$Q_{énergie,i}$= Quantité d'énergie de type i consommée sur le chantier de construction (donnée réelle issue du projet) (kWh ou L)

$DE_{énergie,i}$= Donnée environnementale relative à la mise à disposition de l'énergie de type i. (/kWh ou /L)

4.5.1.1.2 Calcul des impacts liés aux consommations et rejets d'eau du chantier de construction

Les impacts liés aux consommations et rejets d'eau sur le chantier sont calculés par la formule suivante :

$$\boldsymbol{I^{Edification}_{chantier,eau} = Q_{chantier,eau\ potable} \times DE_{eau\ potable} + Q_{chantier,eaux\ usées} \times DE_{assainissementAC}} \quad (94)$$

Où

$I^{Edification}_{chantier,eau}$= Impacts liés aux consommations et rejets d'eau du chantier de construction (affectées à la phase d'édification du bâtiment)

$Q_{chantier,eau\ potable}$= Quantité d'eau potable consommée par le chantier de construction (m^3) (donnée réelle issue du projet)

$DE_{eau\ potable}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts envrionnementaux de la potabilisation de 1 m^3 d'eau.

$Q_{chantier,eaux\ usées}$= Quantité d'eaux usées rejetées par le chantier de construction (m^3) (donnée réelle issue du projet)

$DE_{assainissementAC}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de l'assainissment collectif (AC) de 1 m^3 d'eaux usées.

4.5.1.1.3 Calcul des impacts liés aux imports de terres et à l'évacuation et au traitement des déchets de terrassement du chantier de construction

Les impacts liés aux imports de terres et à l'évacuation et au traitement des déchets de terrassement du chantier de construction sont calculés par la formule suivante :

$$\boldsymbol{I^{Edification}_{chantier,terres} = \sum_i Q_{terres\ imp,i} \times d_i \times DE_{Trans} + \sum_j Q_{terres\ évac,j} \times (d_j \times DE_{Trans} + DE_{trait,j})} \quad (95)$$

Où :

$I^{Edification}_{chantier,terres}$= Impacts liés aux imports, évacuations et traitements des terres du chantier de construction (affectés à la phase d'édification du bâtiment)

$Q_{terres\ imp,i}$= Quantité de terres importées de la destination i (tonnes) (donnée réelle issue du projet)

d_i, d_j= Distance entre le chantier de construction et le lieu d'import des terres i ou distance entre le chantier et le lieu de traitement des terres j (km) (données réelles issues du projet).

DE_{Trans}= Donnée environnementale conventionnelle relative au transport de terres par camion (par tonne.km)

$Q_{terres\ évac,j}$= Quantité de terres évacuées pour un traitement de type j lors du chantier de construction (tonne)

$DE_{trait,j}$= Donnée environnementale conventionnelle relative au type de traitement des terres j (/tonne).

4.5.1.1.4 Calcul des impacts liés aux composants spécifiques au chantier de construction

La méthode est identique au calcul des impacts des composants présenté au 4.2 mais ne concerne que quelques composants spécifiques. Par ailleurs, en raison de la durée du chantier, le facteur de renouvellement des composants spécifiques au chantier est pris égal à 1 ($R_{p,chantier}$=1) et les modules B1 à B7 des données environnementales associées à ces composants sont ignorés parce qu'ils ne sont pas représentatifs d'un usage sur chantier. Il s'agit de composants utilisés pour réaliser des ouvrages provisoires (voies de livraison, plateformes de terrassement,...) nécessaires au chantier ou pour protéger certaines parties de l'ouvrage ou composants pendant le chantier. Pour ce second cas, il convient de s'assurer que ces composants ne sont pas déjà pris en compte dans la donnée environnementale du composant protégé. Par exemple, certaines données environnementales tiennent déjà compte de bâches de protection lors de la mise en œuvre.

4.5.1.1.5 Calcul des impacts totaux du chantier de construction

La contribution totale aux impacts du chantier de construction ($I^{Edification}_{Chantier} = I_{Chantier}$) est calculée selon la formule suivante :

$$I_{chantier} = Ic_{chantier} = \frac{I^{Edification}_{chantier,énergie} + I^{Edification}_{chantier,eau} + I^{Edification}_{chantier,terres} + I^{Edification}_{chantier,composants}}{S_{ref}} \quad (96)$$

$I_{Chantier}$= contribution du chantier aux impacts environnementaux du bâtiment (Impact/m^2)

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.5.2 CALCUL SIMPLIFIE

Le calcul simplifié de la contribution aux impacts environnementaux du chantier de construction du bâtiment permet de connaitre les consommations et rejets (énergie, eau, transport, etc.) à partir d'un nombre restreint de paramètres.

Pour le transport des terres importées, la distance d'approvisionnement du chantier peut être prise par défaut à 30km.

Ce calcul dépend de la typologie du bâtiment. Seuls les calculs qui diffèrent du calcul détaillé sont repris ci-dessous. Les composants spécifiques au chantier ne sont pas pris en compte dans le calcul simplifié.

4.5.2.1.1 Cas des maisons individuelles en mode diffus ou groupées

La quantité d'énergie consommée sur le chantier est jugée négligeable

$$I^{Edification}_{chantier,énergie} = 0 \quad (97)$$

Les volumes d'eau potable consommée et d'eau usée rejetée par le chantier sont fixés conventionnellement :

$$Q_{chantier,eau\ potable} = Q_{chantier,eaux\ usées} = 10\ m^3 \quad (98)$$

La surface de la parcelle du projet détermine le volume de terres évacuées $Q_{terres\ évacuées}$

Si la surface de la parcelle est strictement supérieure à 500 m² alors aucune terre n'est évacuée du chantier puisqu'il est considéré que ces terres peuvent être réparties sur la parcelle. On a alors

$$Q_{terres\ évacuées} = 0 \quad (99)$$

Si la surface de la parcelle est inférieure ou égale à 500 m^2, on utilise la formule

$$Q_{terres\ évacuées} = 1{,}12 \times \mu_{terres} \times S_{emprise\ au\ sol} \quad (100)$$

Où :

$Q_{terres\ évacuées}$= Quantité de terres évacuées lors du chantier de construction (t)

$S_{emprise\ au\ sol}$= Surface d'emprise au sol du bâtiment (m^2)

μ_{terres}= Masse volumique des terres (1,45 t/m^3, donnée conventionnelle)

L'évacuation des terres vers un centre de traitement nécessite un transport et le traitement du déchet.Les hypothèses suivantes sont considérées : l'évacuation des terres se fait vers un centre de traitement des déchets inertes (par défaut le transport se fait par camion sur une distance de 30km). La donnée environnementale du traitement et du transport sont des données conventionnelles.

4.5.2.1.2 Cas des autres typologies

Le calcul simplifié de la quantité d'électricité consommée lors du chantier ($Q_{chantier,élec}$) est réalisé selon la formule suivante :

$$Q_{chantier,élec} = 10400 n_{été,grue} + 19500 n_{hiver,grue} + 5200 n_{été,sans\ grue} + 10400 n_{hiver,sans\ grue} \quad (101)$$

Où :

$Q_{chantier,élec}$= quantité d'électricité consommée sur le chantier de construction (kWh)

$n_{été,grue}$ = Nombre de mois d'été (d'avril à septembre) de chantier avec présence de grue
$n_{hiver,grue}$= Nombre de mois d'hiver (d'octobre à mars) de chantier avec présence de grue
$n_{été,sans\ grue}$= Nombre de mois d'été (d'avril à septembre) de chantier sans présence de grue
$n_{hiver,sans\ grue}$= Nombre de mois d'hiver (d'octobre à mars) de chantier sans présence de grue

Le calcul simplifié de la quantité de carburant ($Q_{chantier,carburant}$) consommée lors du chantier est réalisé selon la formule suivante :

$$Q_{chantier,carburant} = \varepsilon_1 \times Q_{terres\ excavées} \quad (102)$$

Où :

$Q_{chantier,carburant}$= Quantité de carburant consommée lors du chantier (L)
$Q_{terres\ excavées}$= Volume de terres excavées (en m^3) lors du chantier
ε_1 = Consommation de carburant par m^3 de terres excavées (par défaut égal à 1L/m^3)

Le calcul simplifié des volumes d'eau consommés et rejetés lors du chantier est réalisé selon la formule suivante :

$$Q_{chantier,eau\ potable} = Q_{chantier,eaux\ usées} = 60n_{\ grue} + 40n_{sans\ grue} \quad (103)$$

Où :

$Q_{chantier,eau\ potable}$= Volume d'eau potable (en m3) consommé lors du chantier
$Q_{chantier,eaux\ usées}$= Volume d'eau (en m3) rejeté lors du chantier
$n_{\ grue}$= Nombre de mois de chantier avec présence de grue
$n_{sans\ grue}$= Nombre de mois de chantier sans présence de grue

4.6 CALCUL DE LA CONTRIBUTION DE LA PARCELLE AUX IMPACTS

Cette contribution comprend les impacts relatifs :

- aux composants constituant les ouvrages de la parcelle, y compris les ouvrages de franchissement d'infrastructures de transport et les éléments de protection de la parcelle vis-à-vis des nuisances acoustiques liées à des infrastructures de transport,
- au comblement des cavités souterraines,
- aux usages de l'eau potable pour l'arrosage,
- aux usages de l'eau potable pour les usages particuliers (nettoyage des voies publiques et privées ou des cours d'immeuble, piscine par exemple),
- aux rejets d'eaux issues du ruissellement des eaux d'arrosage et de lavage des voies publiques et privées, des cours d'immeubles.

4.6.1 CALCUL DETAILLE

4.6.1.1 Calcul statique

4.6.1.1.1 Impacts relatifs aux composants

La méthode est identique au calcul des impacts des composants présenté au 4.2 mais ne s'applique donc qu'aux composants affectés à la parcelle. Ces composants concernent notamment les clôtures et la voirie hors aires de stationnement. La liste des composants concernés est disponible dans le Tableau 6 page 33.

On peut ainsi obtenir les impacts souhaités, décomposés par phase du cycle de vie.

$$I_{parcelle,composants} = I^{Production}_{parcelle,composants} + I^{Edification}_{parcelle,composants} + I^{Exploitation}_{parcelle,composants} + I^{Fin\ de\ vie}_{parcelle,composants} + I^{Module\ D}_{parcelle,composants} \quad (104)$$

4.6.1.1.2 Impacts relatifs au chantier

Les impacts relatifs au chantier affectés à la contribution parcelle concernent les comblements de cavité (préparation de la parcelle avant construction). Cet impact comprend donc un transport des matériaux de comblement et leur mise en œuvre.

$$I^{Edification}_{parcelle,chantier} = \sum_i (Q_{Mat\ imp,i} \times d_i \times DE_{Trans}) + \sum_i (\varepsilon_2 \times Q_{Mat\ imp,i} \times DE_{carbu}) \quad (105)$$

Où :

$I^{Edification}_{parcelle,chantier}$= Impacts liés au comblement de cavités sous la parcelle

$Q_{Mat\ imp,i}$= Quantité de matériaux importés de la destination i (tonnes) (donnée réelle issue du projet)

d_i= Distance entre le chantier de construction et le lieu d'import i des matériaux (km) (données réelles issues du projet).

DE_{Trans}= Donnée environnementale conventionnelle relative au transport de terres par camion (par tonne.km)

ε_2 = Consommation de carburant par tonne de matériau utilisé en comblement (par défaut pris égal à 0,7L/tonne)

DE_{carbu} =Donnée environnementale conventionnelle relative à la production et la combustion d'un L de carburant.

4.6.1.1.3 Impacts relatifs aux usages de l'eau sur la parcelle

En adaptant les formules précédentes, on obtient les formules suivantes

$$Q_{parcelle,eau\ potable} = Q_{parcelle,eau\ potable\ arrosage} + Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière} - Q_{eaux\ pluv\ usages\ parcelle} \quad (106)$$

Avec :

$Q_{parcelle,eau\ potable}$= Quantité annuelle d'eau potable consommée par les usages relatifs à la parcelle (m^3/an)

$Q_{parcelle,eau\ potable\ arrosage}$= Quantité annuelle d'eau potable consommée par l'arrosage des surfaces végétalisées de la parcelle (m^3/an)

$Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière}$= Quantité annuelle d'eau potable consommée par les usages particuliers d'eau sur la parcelle (m^3/an)

$Q_{eaux\ pluv\ usages\ parcelle}$= Quantité annuelle d'eaux pluviales utilisée pour couvrir les besoins d'arrosage et les usages particuliers de l'eau sur la parcelle (m^3/an). Par défaut, cette quantité est nulle. (m^3/an)

La quantité d'eau potable consommée par l'arrosage des surfaces végétalisées de la parcelle peut être obtenue par la formule suivante :

$$Q_{parcelle,eau\ potable\ arrosage} = S_{parcelle\ végétalisée} \times n_{eau\ arrosage} \times n_{arrosages} \quad (107)$$

Pour les usages particuliers de l'eau sur la parcelle, la méthode permet notamment de prendre en compte le nettoyage des voiries et espaces communs extérieurs, la formule suivante peut être utilisée :

$$Q_{parcelle,eau\ potable\ nettoyage} = S_{nettoyée} \times n_{eau\ nettoyage} \times n_{nettoyages} \quad (108)$$

Avec

$S_{parcelle\ végétalisée}$ = Surface végétalisée de la parcelle (m^2) (hors toitures et façades végétalisées). Pour rappel ces surfaces ne comprennent pas les toitures et façades végétalisées, dont l'arrosage est affecté à la contribution eau.

$n_{eau\ arrosage}$= Quantité d'eau consommée à chaque arrosage (m^3/m^2) (par convention 0,0033)

$n_{arrosages}$= Nombre annuel d'arrosages (par convention 20)

$S_{nettoyée}$ = Surfaces extérieures nettoyées (hors aires de stationnement) (m^2)

$n_{eau\ nettoyage}$= Quantité d'eau consommée à chaque nettoyage (m^3/m^2) (par convention 0,001)

$n_{nettoyages}$= Nombre annuel de nettoyages (par convention 4)

Si l'eau fait l'objet d'autres usages particuliers sur la parcelle, une note de calcul doit être fournie pour justifier les calculs réalisés en tenant compte si nécessaire des dispositifs d'utilisation des eaux pluviales.

On calcule ensuite les impacts relatifs aux consommations d'eau potable sur la parcelle par la formule :

$$I^{Exploitation}_{parcelle,eau\ potable} = Q_{parcelle,eau\ potable} \times DE_{eau\ potable} \times PER \quad (109)$$

Avec :

$I^{Exploitation}_{parcelle,eau\ potable}$= Contribution aux impacts relatifs aux usages de l'eau potable sur la parcelle en phase d'exploitation

$Q_{parcelle,eau\ potable}$= Quantité d'eau potable consommée par les usages liées à la parcelle (m^3/an)

$DE_{eau\ potable}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de la mise à disposition de 1 m^3 d'eau potable.

PER = Période d'étude de référence du bâtiment (années)

Concernant les impacts relatifs aux rejets d'eaux liés aux usages précédents, les rejets par ruissellement d'eau d'arrosage sont considérés faibles et négligés. L'eau utilisée pour le nettoyage des surfaces, ainsi que l'eau destinée aux usages particuliers est considérée intégralement collectée et traitée par un système d'assainissement collectif (qu'elle soit à l'origine, de l'eau potable ou de l'eau pluviale).

On peut alors utiliser les formules suivantes :

$$Q_{parcelle,eaux\ usées} = Q_{parcelle,eaux\ pluviales} + Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière} \quad (110)$$

$$Q_{parcelle,eaux\ pluviales} = \frac{Q_{pluviométrie}}{1000} \times S_{Surfaces\ imperméabilisées\ hors\ parkings} \quad (111)$$

$$I^{Exploitation}_{parcelle,eaux\ usées} = Q_{parcelle,eaux\ usées} \times DE_{AssainissementAC} \times PER \quad (112)$$

Avec

$I^{Exploitation}_{parcelle,eaux\ usées}$ = Contribution aux impacts relatifs aux rejets d'eaux usées par la parcelle en phase d'exploitation

$Q_{parcelle,eaux\ usées}$= Quantité annuelle d'eaux usées rejetées par la parcelle (hors aires de stationnement et usages internes du bâtiment) (m^3/an)

$Q_{parcelle,eaux\ pluviales}$= Quantité annuelle d'eaux pluviales collectées sur la parcelle (hors toitures et aires de stationnement) (m^3/an) et devant faire l'objet d'un assainissement collectif.

$Q_{parcelle,eau\ particulière}$= Quantité annuelle d'eau consommée par les usages particuliers d'eau sur la parcelle (m^3/an)

$Q_{pluviométrie}$= pluviométrie moyenne annuelle du site (mm d'eau/an soit L/m^2/an)

$S_{Surfaces\ imperméabilisées\ hors\ parkings}$= surfaces imperméabilisées sur la parcelle hors aires de stationnement et emprise au sol du bâtiment (m^2)

$DE_{assainissementAC}$= Donnée environnementale conventionnelle correspondant aux impacts environnementaux de l'assainissement collectif (AC) de 1 m^3 d'eaux usées.

PER = Période d'étude de référence du bâtiment (années)

4.6.1.1.4 Calcul de la contribution parcelle

Pour la phase de production, seuls les composants contribuent aux impacts :

$$I^{Production}_{parcelle} = I^{Production}_{parcelle,composants} \quad (113)$$

Pour la phase d'édification, la contribution parcelle est la somme d'une contribution composants et d'une contribution chantier :

$$I^{Edification}_{parcelle} = I^{Edification}_{parcelle,composants} + I^{Edification}_{parcelle,chantier} \quad (114)$$

Pour la phase d'exploitation, la contribution parcelle est la somme d'une contribution composant, et des contributions relatives aux usages de l'eau :

$$I^{Exploitation}_{parcelle} = I^{Exploitation}_{parcelle,composants} + I^{Exploitation}_{parcelle,eau\ potable} + I^{Exploitation}_{parcelle,eaux\ usées} \quad (115)$$

Enfin, pour la phase de fin de vie, seuls les composants contribuent aux impacts :

$$I^{Fin\ de\ vie}_{parcelle} = I^{Fin\ de\ vie}_{parcelle,composants} \quad (116)$$

On peut donc calculer

$$I_{parcelle} = \frac{I^{Production}_{parcelle} + I^{Edification}_{parcelle} + I^{Exploitation}_{parcelle} + I^{Fin\ de\ vie}_{parcelle}}{S_{ref}} \quad (117)$$

$I_{parcelle}$= contribution du chantier aux impacts environnementaux du bâtiment (Impact/m^2)

S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

4.6.1.2 Calcul dynamique

Pour le calcul dynamique des impacts des composants affectés à la contribution parcelle, la méthode est identique à la méthode dynamique utilisée pour le calcul de la contribution composants. Pour le calcul dynamique des impacts relatifs aux usages de l'eau affectés à la parcelle, en utilisant les mêmes principes que précédemment, les formules suivantes remplacent les formules du calcul statique :

$$Ic^{Exploitation}_{parcelle,eau\ potable} = Q_{parcelle,eau\ potable} \times DE_{eau\ potable} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a) \quad (118)$$

$$Ic^{Exploitation}_{parcelle,eaux\ usées} = Q_{parcelle,eaux\ usées} \times DE_{AssainissementAC} \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a) \quad (119)$$

Les autres formules restent identiques au calcul statique (voir 4.6.1.1).

4.6.2 CALCUL SIMPLIFIE

4.6.2.1 Calcul statique

Il est possible de simplifier les calculs des impacts relatifs aux usages de l'eau en ne considérant aucun usage d'eau de pluie en substitution de l'eau potable et en ne prenant en compte que les usages liés au nettoyage pour les usages particuliers.

Les formules suivantes remplacent alors les formules du calcul détaillé :

$$Q_{parcelle,eau\ potable} = Q_{parcelle,eau\ potable\ arrosage} + Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière} \quad (120)$$

$$Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière} = Q_{parcelle,eau\ potable\ nettoyage} \quad (121)$$

$$Q_{parcelle,eaux\ usées} = Q_{parcelle,eaux\ pluviales} + Q_{parcelle,eau\ potable\ particulière} \quad (122)$$

Les autres formules utilisées pour le calcul détaillé restent inchangées (voir 4.6.1.1).

4.6.2.2 Calcul dynamique

Le calcul dynamique simplifié reprend intégralement les formules du calcul dynamique détaillé en utilisant dans les formules les termes du calcul simplifié définis au 4.6.2.1.

4.7 CALCUL DES BENEFICES ET CHARGES LIES A L'EXPORT D'ENERGIE

Pour ce calcul, la distinction entre calcul simplifié et détaillé ne s'applique plus car le calcul s'appuie sur les mêmes données qu'elles soient calculées avec la méthode détaillée ou avec la méthode simplifiée.

4.7.1 CALCUL STATIQUE

Les bénéfices et charges environnementales liés à l'export d'énergie se calculent en faisant la différence entre d'une part l'impact évité de l'énergie exportée (non production de l'énergie équivalente par d'autres moyens), et d'autre part les impacts de l'énergie consommée (énergie solaire, électricité ou combustible) nécessaire à produire cette énergie exportée complétés de la partie de l'impact des composants affectée à cette production d'énergie exportée. Cela se traduit par la formule :

$$\boldsymbol{B_{export\ énergie} = \frac{1}{S_{ref}} \times \left(\sum_{p}\sum_{j}\left[Pef,exp_{pj} \times \left(DEref_j - \frac{DE_p}{\rho_j}\right)\right] \times PER - \sum_{p}\sum_{j}\left(Pef,exp_{pj} \times \frac{I_p}{Pef,tot_p}\right)\right)} \quad (123)$$

Où :

- Pef,exp_{pj} = est la quantité totale d'énergie j produite et exportée annuellement par l'équipement p. Les équipements concernés sont ceux des sous-lots 8.2 (cogénération chaleur/électricité) et lot 13 (production d'électricité uniquement)
- $DEref_j$= Impact de mise à disposition par un moyen, de production et de distribution, de référence de l'énergie j produite par l'équipement p. Par exemple, pour l'électricité produite par le bâtiment et exportée, les impacts moyens de l'électricité du réseau national sont utilisés par défaut, ces données sont mises à disposition par le ministère en charge de l'énergie.
- DE_p= Impact de mise à disposition (par kwh d'énergie consommée) de l'énergie utilisée par l'équipement p pour produire l'énergie exportée. Dans le cas du photovoltaïque, l'énergie solaire n'a pas d'impact. Dans le cas d'une cogénération, l'impact considéré est celui du combustible consommé.
- ρ_j= rendement de transformation de l'énergie consommée en énergie j pour l'équipement p. Pour la production d'électricité photovoltaïque, le rendement est pris par convention égal à 1.
- I_p= Impact environnemental total (cycle de vie complet et sur la PER) des composants du lot 13 ou sous-lot 8.2 contenant l'équipement p qui produit l'énergie exportée (y inclus part affectée au bâtiment), cela représente l'impact total des équipements du lot 13 ou sous-lot 8.2 avant application du coefficient d'autoconsommation (cf 4.2.1.1.5)
- Pef,tot_p= Quantité totale d'énergie produite annuellement (chaleur et l'électricité) par l'équipement p.
- PER =Période d'étude de référence (années)
- S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

Les valeurs résultantes de $B_{export\ énergie}$ peuvent être positives ou négatives. Les valeurs positives traduisent un bénéfice environnemental au-delà du cycle de vie du bâtiment sur les indicateurs concernés.

4.7.2 CALCUL DYNAMIQUE

$$Bc_{export\ énergie} = \frac{1}{S_{ref}} \times \left(\sum_{p}\sum_{j}\left[Pef,exp_{pj} \times \left(DEref_j - \frac{DE_p}{\rho_j}\right) \times \sum_{a=1}^{PER} f_{CO2}(a)\right] - \sum_{p}\sum_{j}\left(Pef,exp_{pj} \times \frac{I_{p,dyn}}{Pef,tot_p}\right)\right) \quad (124)$$

Où :

- Pef,exp_{pj} = est la quantité totale d'énergie j produite et exportée annuellement par l'équipement p. Les équipements concernés sont ceux des sous-lots 8.2 (cogénération chaleur/électricité) et lot 13 (production d'électricité uniquement)
- $DEref_j$= Impact de mise à disposition par un moyen, de production et de distribution, de référence de l'énergie j produite par l'équipement p. Par exemple, pour l'électricité produite par le bâtiment et exportée, les impacts moyens de l'électricité du réseau national sont utilisés par défaut, ces données sont mises à disposition par le ministère en charge de l'énergie.
- DE_p= Impact de mise à disposition (par kwh d'énergie consommée) de l'énergie utilisée par l'équipement p pour produire l'énergie exportée. Dans le cas du photovoltaïque, l'énergie solaire n'a pas d'impact. Dans le cas d'une cogénération, l'impact considéré est celui du combustible consommé.
- ρ_j= rendement de transformation de l'énergie consommée en énergie j pour l'équipement p. Pour la production d'électricité photovoltaïque, le rendement est pris par convention égal à 1.
- $I_{p,dyn}$= Impact environnemental total (cycle de vie complet et sur la PER) des composants du lot ou sous-lot contenant l'équipement p qui produit l'énergie exportée calculé par la méthode dynamique (y inclus la part affectée au bâtiment).
- Pef,tot_p= Quantité totale d'énergie produite annuellement (chaleur et l'électricité) par l'équipement p.
- S_{ref} = surface de référence du bâtiment (m^2)

5. CALCUL DES INDICATEURS DE PERFORMANCE

5.1 INDICATEUR DE CONFORT D'ETE - CALCUL DE L'INDICATEUR DEGRES-HEURES

Le niveau d'inconfort perçu par les occupants – indicateur degrés-heures :

L'objectif de l'indicateur degrés-heures (DH) est d'évaluer l'inconfort ressenti en été par les occupants. Selon la valeur de cet indicateur, le groupe peut être considéré comme ayant un confort assuré sans refroidissement complémentaire (valeur inférieure au seuil bas), être non réglementaire (valeur dépassant le seuil maximal), ou présenter un niveau d'inconfort significatif en cas de période caniculaire. Dans ce dernier cas, le calcul de consommation énergétique tient compte de consommations forfaitaires de froid. Ces principes sont résumés dans le graphique ci-dessous.

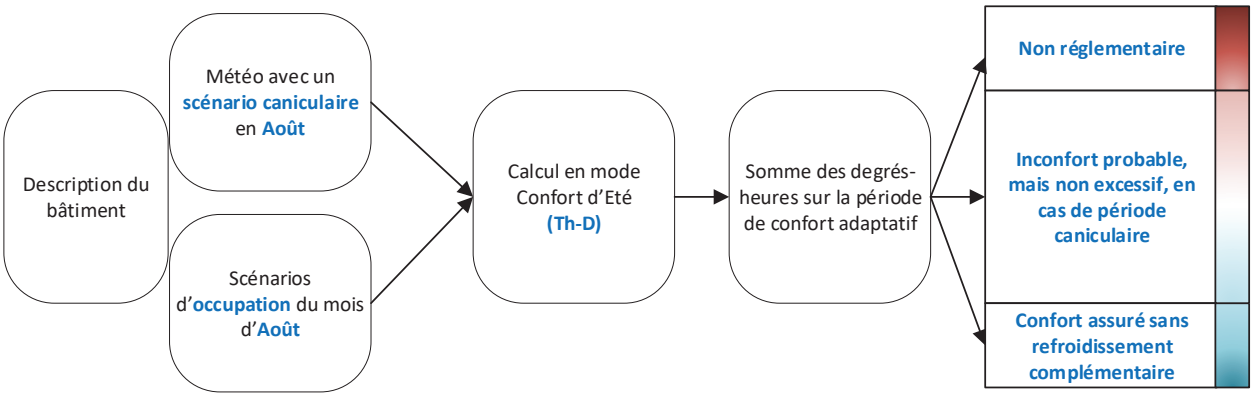


Figure 15 – Approche du confort d'été en RE 2020

Méthode de calcul de l'indicateur :

Il est calculé heure par heure, sur l'année, en comparant la température opérative du groupe θ_{op}, et la température seuil opérative de confort, éventuellement corrigée $\theta_{op\_conf\_ch\_corr}$.
Si la température du groupe est supérieure au seuil durant les heures d'occupation du bâtiment ($Is_{occ_{zone(h)}} = 1$), l'indicateur est incrémenté de l'écart observé. On obtient donc un nombre de degrés-heures annuels de dépassement de la température seuil de confort, correspondant à l'indicateur DH, selon la formule ci-dessous :

$$DH = \sum_{\substack{h\ telle\ que \\ \left(\substack{Is_{occ_{zone(h)}}=1\ et \\ Is\_conf\_adapt(h)=1}\right)}} max\left(0; \theta_{op}(h) - \theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h)\right) \quad (125)$$

La température seuil opérative de confort est basée sur la notion de température de confort adaptatif. C'est-à-dire que ce n'est pas une valeur constante. Le confort adaptatif ($Is\_conf\_adapt(□) = 1$) implique en effet que, en fonction de la température extérieure moyenne glissante des derniers jours la température seuil de confort peut être augmentée ou pas. S'il fait chaud depuis plusieurs jours, cette notion considère que l'occupant ne sera en situation d'inconfort qu'avec une température intérieure plus élevée ; la température seuil est alors augmentée.

On notera que le confort adaptatif n'est pas utilisé la nuit, et que certains systèmes (type brasseurs d'air) peuvent également venir corriger cette valeur, pour tenir compte de leur impact sur le ressenti des occupants.

Des indicateurs complémentaires à cet indicateur fournissent des éléments d'appréciation de l'intensité du dépassement de la température seuil de confort (nombre d'heures de dépassement de la valeur seuil de plus de 1°C, de plus de 2°C).

5.2 INDICATEURS DE PERFORMANCE ENERGETIQUE - CALCUL DE L'INDICATEUR BBIO ET DES INDICATEURS CEP ET CEP,NR

Pour la performance énergétique, l'efficacité du bâti (indicateur Bbio) et celle de l'ensemble bâti et systèmes énergétiques (indicateurs Cep et Cep,nr, qui diffèrent selon la façon de prendre en compte les énergies renouvelables extérieures au projet de construction) sont évaluées séparément.

5.2.1 L'EFFICACITE ENERGETIQUE DU BATI – INDICATEUR BBIO :

L'indicateur de besoin bioclimatique Bbio est calculé au niveau du bâtiment sur la base d'un calcul annuel (mode de calcul Th-B) dans lequel les équipements énergétiques sont absents, afin de mesurer l'efficacité énergétique propre du bâti sur les besoins de chauffage, de refroidissement, et d'éclairement artificiel des locaux.

Il prend en compte les éléments suivants :

- La conception architecturale du bâti (implantation, forme, aires et orientation des baies, accès à l'éclairage naturel des locaux …),
- Les caractéristiques de l'enveloppe en termes d'isolation, de transmission solaire, de transmission lumineuse, d'ouverture des baies et d'étanchéité à l'air,
- Les caractéristiques d'inertie du bâti.

Les besoins de refroidissement sont calculés même si le bâtiment ne comporte pas de système de refroidissement.

Le système de ventilation retenu est de type double flux à débit soufflé et extrait constants intégrant un récupérateur de chaleur d'efficacité 50%. Les débits de ventilation retenus sont les débits hygiéniques réglementaires.

Pour les autres éléments, les conventions de calcul utilisées par ailleurs s'appliquent (température de consigne par exemple mais hors impact des systèmes énergétiques – variations spatiales et temporelles nulles).

L'indicateur Bbio est ainsi basé sur les besoins de chauffage, refroidissement et d'éclairage artificiel (déterminés en kWh/m²) et convertis en point selon la formule ci-dessous :

$$\boldsymbol{Bbio\_pts = \alpha_1 . Bes\_Chauffage + \alpha_2 . Bes\_Froid + \beta . Bes\_Eclairage} \quad (126)$$

Avec :

α1 - Constante associée aux besoins de chaud qui a pour valeur 2

α2 - Constante associée aux besoins de froid qui a pour valeur 2

β - Constante associée aux besoins d'éclairage artificiel qui a pour valeur 5.

5.2.2 L'EFFICACITE DES SYSTEMES ENERGETIQUES – INDICATEURS CEP ET CEP,NR :

L'indicateur Cep, exprimé en kWh/(m².an) d'énergie primaire (ou kWhep/(m².an) représente la somme des consommations conventionnelles d'énergie primaire du bâtiment pour les différents postes de consommation :

- le chauffage $C_{ep\_ch}^{bat}$,
- le refroidissement $C_{ep\_fr}^{bat}$,
- la production d'eau chaude sanitaire $C_{ep\_ecs}^{bat}$;
- la consommation pour assurer les besoins d'éclairage artificiels $C_{ep\_ecl}^{bat}$
- les auxiliaires de ventilation $C_{ep\_auxv}^{bat}$,
- les auxiliaires de distribution $C_{ep\_auxs}^{bat}$
- ainsi que le déplacement des occupants à l'intérieur du bâtiment si cela nécessite une consommation d'énergie $C_{ep\_asc}^{bat}$.et $C_{ep\_esc}^{bat}$

Pour les postes chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire sont incluses les consommations des auxiliaires associés au fonctionnement des générateurs assurant ces fonctions.

Ces informations sont remontées des différents groupes composant le bâtiment, eux-mêmes regroupés en zone, ainsi que des systèmes énergétiques assurant la satisfaction des besoins.

La consommation conventionnelle en énergie primaire de chaque poste est calculée à partir des consommations d'énergie de ce poste, multipliée par le coefficient de conversion en énergie primaire, propre à chaque énergie (cf. Tableau 11).

$$\boldsymbol{Cep} = \sum_{\boldsymbol{energie}}^{\boldsymbol{bat}} [\boldsymbol{Cef\_[energie]} \times \boldsymbol{CoefEP[energie]}] \quad (127)$$

L'indicateur Cep,nr exprimé en kWhep/m² d'énergie primaire non renouvelable représente la consommation conventionnelle du bâtiment pour les mêmes usages que l'indicateur Cep ci-dessus, en ne conservant que la part non renouvelable de ces consommations.

Pour l'indicateur Cep,nr (consommation d'énergie primaire non renouvelable), on utilise alors les coefficients de conversion en énergie primaire non renouvelable suivant la relation :

$$\boldsymbol{Cepnr} = \sum_{\boldsymbol{energie}}^{\boldsymbol{bat}} [\boldsymbol{Cef\_[energie]} \times \boldsymbol{CoefEPnr[energie]}] \quad (128)$$

La part non-renouvelable d'énergie prise en compte selon le vecteur énergétique est déduite du tableau ci-dessous avec :

- Coef EP : coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire totale
- CoefEPnr : coefficient de conversion de l'énergie finale en énergie primaire non renouvelable

Type d'énergie	CoefEP	CoefEPnr
Gaz naturel	1	1
Fioul	1	1
Bois	1	0
Electricité	2,3	2,3
Réseau urbain (chauffage)	1	1 - RatENR_rdch
Réseau urbain (froid)	1	1

Tableau 11 : coefficients de conversion de l'énergie finale en énergie primaire (totale et non-renouvelable) pour les différents types d'énergie

Pour les réseaux urbains, la valeur du coefficient CoefEPnr pour les réseaux de chauffage/ECS est fonction du ratio d'énergie renouvelable RatENR du réseau, défini au niveau du bâtiment.

Les consommations d'énergie retenues $Cef\_[energie]$ sont les consommations d'énergie importées, c'est-à-dire après déduction de la part d'électricité produite sur site et autoconsommée sur les usages concernés.

5.2.3 CONSOMMATION PAR OCCUPANT

La méthode introduit un indicateur présentant la consommation totale d'énergie primaire par occupant.

Il est calculé par la formule suivante :

$$Cep\_occ = \frac{Cep \times S_{ref}}{Nocc} \quad (129)$$

Le nombre d'occupants est une donnée conventionnelle.

- Pour les maisons individuelles et les bâtiments résidentiels collectifs:

$$Nocc = \sum_i (i \times n_i) \quad (130)$$

Avec n_i le nombre de logements de type T_i dans le bâtiment.

- Pour les bâtiments d'enseignement Nocc est pris égal au nombre d'élèves prévu lors de la programmation de la construction.
- Pour les autres typologies de bâtiments, cette donnée est définie dans le programme du bâtiment.

5.3 INDICATEURS DE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Les conventions de notation sont celles utilisées au chapitre 4.

5.3.1 INDICATEURS D'IMPACTS SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le chapitre 4 définit le calcul par la méthode dynamique de plusieurs indicateurs de l'impact sur le changement climatique, notamment les indicateurs suivants :

- Un indicateur d'impact sur le changement climatique relatif aux composants du bâtiment, noté $Ic_{composants}$;
- Un indicateur d'impact sur le changement climatique relatif au chantier de construction, noté $Ic_{chantier}$;
- Un indicateur d'impact sur le changement climatique relatif aux consommations et rejets d'eau en exploitation du bâtiment, noté Ic_{eau} ;
- Un indicateur d'impact sur le changement climatique relatif aux consommations d'énergie en exploitation du bâtiment, noté $Ic_{énergie}$;
- Un indicateur d'impact sur le changement climatique relatif à la parcelle, noté $Ic_{parcelle}$;
- Les indicateurs d'impact sur le changement climatique de chacun des lots 1 à 13, notés Ic_{lotk} (où k est le numéro du lot).

Ces indicateurs, tels que décrits dans le chapitre 4, sont exprimés en kg eq.CO_2/m^2. Ils peuvent aussi être exprimés au nombre d'occupants du bâtiment (voir calcul du nombre d'occupants N_{occ} au chapitre 5.2.3).

5.3.1.1 Indicateurs d'impact sur le changement climatique relatif à la construction

Cet indicateur, noté $Ic_{construction}$ est calculé par la formule suivante :

$$\boldsymbol{Ic_{construction} = Ic_{composants} + Ic_{chantier}} \quad (131)$$

Il s'exprime kg eq.CO_2/m^2.

On peut aussi calculer l'indicateur $Ic_{construction,occ}$

$$\boldsymbol{Ic_{construction,occ} = Ic_{construction} \times \frac{S_{ref}}{N_{Occ}}} \quad (132)$$

Il s'exprime kg eq.CO_2/occupant.

5.3.1.2 Indicateur d'impact sur le changement climatique relatif à l'énergie

Le calcul de cet indicateur noté $Ic_{énergie}$ est explicité au chapitre 4.3.2 . Il s'exprime en (kg CO_2 eq/m^2).

5.3.1.3 Indicateurs d'impacts sur le changement climatique relatif au bâtiment

Cet indicateur, noté $Ic_{bâtiment}$ est calculé par la formule suivante :

$$Ic_{bâtiment} = Ic_{construction} + Ic_{énergie} + Ic_{eau} \quad (133)$$

Il s'exprime en kg eq.CO_2/m^2

On peut aussi calculer l'indicateur $Ic_{bâtiment,occ}$

$$\boldsymbol{Ic_{bâtiment,occ} = Ic_{bâtiment} \times \frac{S_{ref}}{N_{Occ}}} \quad (134)$$

Il s'exprime kg eq.CO_2/occupant.

5.3.1.4 Indicateurs d'impacts sur le changement climatique relatif au projet

Cet indicateur noté Ic_{projet} est calculé par la formule suivante :

$$Ic_{projet} = Ic_{bâtiment} + Ic_{parcelle} \quad (135)$$

Il s'exprime kg eq.CO_2/m^2.

Dans le cas d'une parcelle comportant plusieurs bâtiments, il est calculé un Ic_{projet}pour chaque bâtiment en affectant les impacts de la parcelle à chacun des bâtiments de la parcelle au prorata de leurs surfaces.

On peut aussi calculer l'indicateur $Ic_{projet,occ}$

$$\boldsymbol{Ic_{projet,occ} = Ic_{projet} \times \frac{S_{ref}}{N_{Occ}}} \quad (136)$$

Il s'exprime kg eq.CO_2/occupant.

5.3.2 INDICATEUR DE STOCKAGE DE CARBONE BIOGENIQUE

5.3.2.1 Calcul des données environnementales nécessaires au calcul de cet indicateur

La valeur environnementale relative au stockage de carbone biogénique d'un composant p est notée $StockC_p$. Il s'agit d'une quantité de carbone biogénique stockée dans le composant pendant sa vie en œuvre.

Il existe trois cas pour calculer cette valeur.

Cas 1 : la valeur est renseignée dans une donnée environnementale spécifique ou par défaut, disponible sur le composant p. Cette valeur est alors utilisée pour le calcul de l'indicateur de stockage de carbone biogénique.

Cas 2a : la valeur n'est pas renseignée dans une donnée environnementale spécifique ou par défaut, disponible sur le composant p. Si les modules A1 à A3 de la donnée environnementale utilisée pour le composant p ne sont pas dissociés alors :

$$\boldsymbol{Si\ GES_p^{Production} < 0\ alors\ StockC_p = -GES_p^{Production} \times \frac{12}{44}\ sinon\ StockC_p = 0} \quad (137)$$

Cas 2b : la valeur n'est pas renseignée dans une donnée environnementale spécifique ou par défaut disponible sur le composant p. Si le module A1 de la donnée environnementale utilisée pour le composant p peut être dissocié alors :

$$\boldsymbol{Si\ GES_p^{A1} < 0\ alors\ StockC_p = -GES_p^{A1} \times \frac{12}{44}\ sinon\ StockC_p = 0} \quad (138)$$

Dans ces formules $\mathrm{GES}_{\mathrm{p}}^{m}$ désigne la valeur de l'indicateur de réchauffement climatique pour le produit p relatif au module ou à la phase du cycle de vie m.

5.3.2.2 Calcul de l'indicateur de stockage de carbone biogénique du bâtiment

L'indicateur StockC est calculé à l'échelle des sous lots et des lots et du bâtiment.

$$StockC_{sous\ lot\ k} = \frac{1}{S_{ref}} \times \sum_p (Q_p \times StockC_{p,k}) \quad (139)$$

$$StockC_{lot\ i} = \sum_k StockC_{sous\ lot\ k} \quad (140)$$

$$StockC_{bâtiment} = \sum_{i=1}^{13} StockC_{lot\ i} \quad (141)$$

Avec :

$StockC_{bâtiment}$= Indicateur de stockage de carbone biogénique du bâtiment (exprimé en kg C/m^2)

$StockC_{p,k}$= Masse de carbone biogénique stockée dans le composant p appartenant au sous lot k (en kg C)

Pour l'agrégation à l'échelle du lot et du sous lot, les règles d'affectation applicables au calcul de la contribution « composants » s'appliquent au calcul de l'indicateur de stockage de carbone biogénique.

Pour tous les calculs de stockC, le renouvellement des composants n'est pas pris en compte (R_p=1).

5.3.2.3 Calcul de l'indicateur de stockage de carbone biogénique de la parcelle

Pour les composants de la parcelle, il est possible de calculer StockC à l'échelle de la parcelle :

$$StockC_{parcelle} = \frac{\sum_p (Q_p \times StockC_p)}{S_{ref}} \quad (142)$$

$StockC_{parcelle}$= Indicateur de stockage de carbone biogénique du bâtiment (exprimé en kg C/m^2)

$StockC_p$= Masse de carbone biogénique stockée dans le composant p (en kg C)

S_{ref} est la surface de référence utilisée pour le bâtiment.

Pour tous les calculs de stockC, le renouvellement des composants n'est pas pris en compte (Rp=1).

5.3.3 AUTRES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX

Tous ces indicateurs sont calculés par la méthode statique. Les conventions de notation sont celles du chapitre 4.

5.3.3.1 Indicateurs à l'échelle du bâtiment

Les indicateurs à l'échelle du bâtiment sont calculés en faisant la somme des impacts des contributions « composants », « énergie », « eau » et « chantier »

$$I_{bâtiment} = I_{composants} + I_{énergie} + I_{eau} + I_{chantier} \quad (143)$$

avec

- $I_{composants}$= impacts de la contribution « composants », voir formule (30)
- $I_{énergie}$= Impacts de la contribution « énergie »,
- I_{eau}= Impacts de la contribution « eau ».
- $I_{chantier}$ =Impacts de la contribution « chantier».

5.3.3.2 Indicateurs à l'échelle du projet

Les indicateurs à l'échelle du projet sont obtenus en ajoutant les impacts de la contribution « parcelle » à l'impact du bâtiment.

$$I_{projet} = I_{bâtiment} + I_{parcelle} \quad (144)$$

- $I_{bâtiment}$ = impacts du bâtiment
- $I_{parcelle}$= Impacts de la contribution de la « parcelle »,

5.3.3.3 Liste des indicateurs

La méthode de calcul associée aux données mises à disposition permet de calculer l'ensemble des indicateurs environnementaux du Tableau 12 page 101. Ces indicateurs sont calculés à l'échelle du projet, à l'échelle du bâtiment et pour chaque contribution, et cela pour chacune des phases du cycle de vie du bâtiment. Ces indicateurs sont exprimés par rapport à la surface de référence et au nombre d'occupants du bâtiment.

5.3.4 INDICATEUR DE L'USAGE DE DONNEES PAR DEFAUT DANS L'EVALUATION

Le calcul d'$Ic_{composants}$ fait appel à des données environnementales spécifiques, des données environnementales par défaut et des lots forfaitaires.

On introduit les indicateurs suivants :

- Ic_{ded_total} correspondant à la contribution à l'impact sur le changement climatique de l'ensemble des composants associés à des données environnementales par défaut ou des lots forfaitaires,
- $Ic_{ded,k}$ correspondant à la contribution à l'impact sur le changement climatique des composants du lot k (ou du sous-lot k) associés à des données environnementales par défaut ou à la valeur du lot (ou sous-lot) forfaitaire si le lot k (ou sous-lot k) est calculé au travers de la méthode simplifiée,

On définit l'indicateur d'usage des données par défaut, à l'échelle du bâtiment, par la formule :

$$UDD_{bâtiment} = \frac{Ic_{ded\_total}}{Ic_{composants}} \quad (145)$$

Cet indicateur est calculé à l'échelle des lots et des sous lots, k.

$$UDD_k = \frac{Ic_{ded,k}}{Ic_{composants,k}} \quad (146)$$

Cet indicateur est calculé à l'échelle de la parcelle :

$$UDD_{parcelle} = \frac{Ic_{parcelle,DED}}{Ic_{parcelle,composants}} \quad (147)$$

avec $Ic_{parcelle,DED}$ correspondant à la contribution à l'impact sur le changement climatiquedes composants de la parcelle associés à des données environnementales par défaut.

Dans le cas du calcul dynamique, on définit l'indicateur de l'impact des données environnementales par défaut et des lots forfaitaires hors lots 1 et 2 par :

$$Ic_{ded} = \frac{\sum_{k=3}^{13} Ic_{ded,k}}{Sref}$$

Toutefois, si le bâtiment est à usage de bureau et a une surface d'emprise au sol supérieure à 1000m², au sens de l'article R. 420-1 du code de l'urbanisme, on définit l'indicateur de l'impact des données environnementales par défaut et des lots forfaitaires hors lots 1, 2 et 13 par :

$$Ic_{ded} = \frac{\sum_{k=3}^{12} Ic_{ded,k}}{Sref}$$

Avec

$Ic_{ded,k}$ correspondant à la contribution à l'impact sur le changement climatique des composants du lot k (ou du sous-lot k) associés à des données environnementales par défaut ou à la valeur du lot (ou sous-lot) forfaitaire si le lot k (ou sous-lot k) est calculé au travers de la méthode simplifiée (calcul avec la méthode dynamique)

Il s'exprime en kg eq.CO_2/m^2.

Indicateurs	Nom	Unité
Indicateurs décrivant les impacts environnementaux		
Emissions de gaz à effet de serre	GES	kg éq. CO_2
Potentiel de destruction de la couche d'ozone stratosphérique (ODP)	ODP	kg éq. CFC 11
Potentiel d'acidification du sol et de l'eau (AP)	AP	kg éq. SO_2
Potentiel d'eutrophisation (EP)	EP	kg éq. PO_4^{3-}
Potentiel de formation d'oxydants photochimiques de l'ozone troposphérique (POCP)	POCP	kg éq. éthylène
Potentiel de dégradation abiotique des ressources pour les éléments (ADP_éléments)	ADPE	kg éq. Sb
Potentiel de dégradation abiotique des combustibles fossiles (ADP_combustibles fossiles)	ADPF	MJ, valeur calorifique nette
Indicateurs décrivant l'utilisation des ressources		
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable à l'exclusion des ressources d'énergie employées en tant que matière première	$UEP_{pro,ren}$	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation de ressources énergétiques primaires renouvelables employées en tant que matière première	$UEP_{mat,ren}$	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire employées en tant que matières premières)	UEP_{ren}	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable à l'exclusion des ressources d'énergie primaire employées en tant que matière première	$UEP_{pro,nren}$	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation de ressources énergétiques primaires non renouvelables employées en tant que matière première	$UEP_{mat,nren}$	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire employées en tant que matières premières)	UEP_{nren}	MJ, pouvoir calorifique inférieur
Utilisation de matières secondaires	C_{MS}	kg
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables	C_{CSRen}	MJ
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables	C_{CSNRen}	MJ
Utilisation nette d'eau douce	C_{eau}	m3
Indicateurs décrivant les catégories de déchets		
Déchets dangereux éliminés	DD	kg
Déchets non dangereux éliminés	DND	kg
Déchets radioactifs	DR	kg
Indicateurs décrivant les flux sortants du système		
Composants destinés à la réutilisation	$M_{Réu}$	kg
Matières pour le recyclage	M_{Recy}	kg
Matières pour la récupération d'énergie (à l'exception de l'incinération)	M_{VE}	kg
Énergie fournie à l'extérieur	E_{ex}	MJ pour chaque vecteur énergétique

Tableau 12 – Liste des indicateurs environnementaux calculés sur la base de l'analyse du cycle de vie

ANNEXE III : Méthode de calcul détaillée « Th-BCE 2020 »

SOMMAIRE

Partie I – Methode de calcul Energie *12*

1. GENERALITES *12*

1.1 Introduction 12

1.2 Architecture des fiches algorithmes 13

1.3 Divers 13

1.3.1 Règle d'arrondis 13

1.3.2 Surfaces utilisées dans le calcul 13

2. LES PRINCIPALES DONNEES CONVENTIONNELLES *14*

2.1 LES DONNEES CONVENTIONNELLES D'OCCUPATION ET D'USAGE 14

2.1.1 LES SCENARIOS CONVENTIONNELS 15

2.1.2 LES AUTRES CONVENTIONS D'USAGE 21

DESCRIPTION DE LA METHODE DE CALCUL - FICHES ALGORITHME DES COMPOSANTS ET DES ASSEMBLAGES *22*

3. METEO ET ENVIRONNEMENT EXTERIEUR *22*

3.1 C_EEX_Climat exterieur 22

3.1.1 Introduction 22

3.1.2 Nomenclature 23

3.1.3 Description mathématique 26

3.2 C_EEX_environnement_proche 29

3.2.1 Introduction 29

3.2.2 Nomenclature 30

3.2.3 Description mathématique 34

4. SCENARIOS ET ENVIRONNEMENT INTERIEUR *45*

4.1 C_EIN_Scénarios conventionnels 45

4.1.1 Introduction 45

4.1.2 Nomenclature 45

4.1.3 Description mathématique 49

4.2 FA_Maison_individuelle_Logement_Collectif 56

4.2.1 Préambule 56

4.2.2 Définitions complémentaires 56

4.2.3 Modalités d'application 56

4.2.4 Comment déterminer le type de bâtiment d'habitation ? 57

4.2.5 Exemples 59

4.3 FA_Comment identifier l'usage d'un bâtiment et l'exigence associée 61

4.3.1 Préambule 61

4.3.2 Quelles sont les conventions d'usage ? 61

4.3.3 Comment identifier l'usage d'un bâtiment et l'exigence associée? 61

4.4 FA_Extension_de_bâtiment 62

4.5 C_Ein_Indicateurs de confort 63

4.5.1 Introduction 63

4.5.2 Nomenclature 64

4.5.3 Description mathématique 67

4.6 C_Ein_Détermination des saisons 72
4.6.1 Introduction 72
4.6.2 Nomenclature 73
4.6.3 Description mathématique 77

4.7 C_EIN_calcul des consommations electriques des équipements mobiliers 87
4.7.1 Introduction 87
4.7.2 Nomenclature 87
4.7.3 Description mathématique 88

5. BATI 89

5.1 S3_BAT-Assemblage_Batiment 90
5.1.1 Introduction 90
5.1.2 Nomenclature 91
5.1.3 Assemblage des composants 93

5.2 S1-Bat-Assemblage des espaces tampons 96
5.2.1 Nomenclature 96
5.2.2 Description mathématique 99

5.3 Gestion/Régulation des espaces tampons solarisés 100
5.3.1 Introduction 100
5.3.2 Nomenclature 101
5.3.3 Description mathématique 104

5.4 Espaces tampons 109
5.4.1 Introduction 109
5.4.2 Nomenclature 110
5.4.3 Description mathématique 114

5.5 S2_BAT-assemblage_zone 119
5.5.1 Introduction 119
5.5.2 Nomenclature 120
5.5.3 Assemblage des composants 122

5.6 C_VEN_Débits_d'air_Cep 127
5.6.1 Introduction 127
5.6.2 Nomenclature 128
5.6.3 Description mathématique 133

5.7 S2_BAT_assemblage_groupe 151
5.7.1 Introduction 151
5.7.2 Nomenclature 152
5.7.3 Assemblage des composants 158

5.8 S1_BAT_assemblage_baies 163
5.8.1 Introduction 163
5.8.2 Nomenclature 164
5.8.3 Assemblage des composants 167

5.9 C_BAT_Gestion_protections_mobiles 170
5.9.1 Introduction 170
5.9.2 Nomenclature 171
5.9.3 Description mathématique 176

5.10 C_BAT_Baie vitrée 203
5.10.1 Introduction 203
5.10.2 Nomenclature 205
5.10.3 Description mathématique 213

5.11 FA_Classement_au_bruit_d'une_baie 230

5.11.1 Introduction 230
5.11.2 Le classement au bruit d'une baie : BR1- BR2 - BR3 230
5.11.3 Etape 1 : repérage général des infrastructures 231
5.11.4 Etape 2 : détermination de la distance d'une façade à une infrastructure de transport terrestre 231
5.11.5 Etape 3 : détermination des obstacles 232
5.11.6 Etape 4 : détermination de la vue de l'infrastructure de transport terrestre depuis une baie 232
5.11.7 tableaux de BR pour le bruit des transports terrestres 234

5.12 C_BAT_Perméabilité_des_PM 236
5.12.1 Introduction 236
5.12.2 Nomenclature 237
5.12.3 Description mathématique 238

5.13 C_BAT_Surventilation naturelle par ouverture des baies pour le confort thermique 240
5.13.1 Introduction 240
5.13.2 Nomenclature 241
5.13.3 Description mathématique 245

5.14 C_BAT_ensemble_baies 256
5.14.1 Introduction 256
5.14.2 Nomenclature 257
5.14.3 Description mathématique 260

5.15 S1_BAT_assemblage_parois opaques 264
5.15.1 Introduction 264
5.15.2 Nomenclature 265
5.15.3 Assemblage des composants 266

5.16 C_BAT_ensemble_parois opaques 267
5.16.1 Introduction 267
5.16.2 Nomenclature 268
5.16.3 Description mathématique 269

5.17 C_BAT_paroi opaque 271
5.17.1 Introduction 271
5.17.2 Nomenclature 272
5.17.3 Description mathématique 274

5.18 S1_BAT_assemblage_ponts_thermiques 277
5.18.1 Introduction 277
5.18.2 Nomenclature 278
5.18.3 Description mathématique 279
5.18.4 Assemblage des composants 280

5.19 C_BAT_pont thermique 281
5.19.1 Introduction 281
5.19.2 Nomenclature 282
5.19.3 Description mathématique 284

5.20 C_BAT_ensemble_ponts_thermiques 286
5.20.1 Introduction 286
5.20.2 Nomenclature 287
5.20.3 Description mathématique 288

5.21 C_BAT_comportement thermique d'un groupe 289
5.21.1 Introduction 289
5.21.2 Nomenclature 290
5.21.3 Description mathematique 295

6. VENTILATION 304

6.1 C_VEN_BBIO 304
6.1.1 Introduction 304
6.1.2 Nomenclature 305
6.1.3 Description mathématique 307

6.2 C_VEN_Bouche_conduit 309
6.2.1 Introduction 309
6.2.2 Nomenclature 310
6.2.3 Description mathématique 314

6.3 C_VEN_ CTA et Double_flux 324
6.3.1 Introduction 324
6.3.2 Nomenclature 325
6.3.3 Description mathématique 335

6.4 C_VEN_Mécanique_Basse-Pression 378
6.4.1 Introduction 378
6.4.2 Définition 378
6.4.3 Nomenclature 379
6.4.4 Description mathématique 381

6.5 C_VEN_Mécanique_SF 382
6.5.1 Introduction 382
6.5.2 Nomenclature 383
6.5.3 Description mathématique 388

6.6 C_VEN_Ventilation naturelle et hybride par conduits 393
6.6.1 Introduction et définition 393
6.6.2 Nomenclature 394
6.6.3 Description mathématique 399

6.7 C_VEN_Ventilation_naturelle_par_ouverture_de_fenêtres 411
6.7.1 Introduction 411
6.7.2 Nomenclature 412
6.7.3 Description mathématique 413

6.8 C_VEN_Puits climatique 414
6.8.1 Introduction 414
6.8.2 Nomenclature 416
6.8.3 Description mathématique 418

6.9 C_VEN_Puits_hydraulique 422
6.9.1 Introduction 422
6.9.2 Nomenclature 423
6.9.3 Description mathématique 426

6.10 C_VEN_gestion_régulation_Puits_climatique 431
6.10.1 Introduction 431
6.10.2 Nomenclature 432
6.10.3 Description mathématique 434

6.11 S1_BAT_assemblage_puits_climatique 436
6.11.1 Introduction 436
6.11.2 Nomenclature 437
6.11.3 Assemblage des composants 438

6.12 C_VEN_Fonctions de rafraichissement par surventilation mécanique des systèmes de ventilation 442
6.12.1 Introduction 442
6.12.2 Nomenclature 443
6.12.3 Description mathématique 446

7. ECLAIRAGE 451

7.1 C_ECL_éclairage 451
7.1.1 Introduction 451
7.1.2 Nomenclature 456
7.1.3 Description mathématique 462

7.2 C_ECL_calcul des consommations d'éclairage des parties communes en logement collectif 483
7.2.1 Introduction 483
7.2.2 Nomenclature 483
7.2.3 Description mathématique 484

8. CHAUFFAGE, REFROIDISSEMENT 485

8.1 C-Emi-Systèmes Emissions du groupe en chaud et en froid 485
8.1.1 Introduction 485
8.1.2 Nomenclature 486
8.1.3 Description mathématique 494

8.2 FA_Emissions_mixte_et_composite 510
8.2.1 Introduction 510
8.2.2 Définitions 510
8.2.3 prise en compte des systèmes d'émission à air non gainés dans les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs 510
8.2.4 prise en compte des appareils indépendants de chauffage à bois dans les maisons individuelles ou accolées 512
8.2.5 prise en compte des appareils indépendants de chauffage à combustible gazeux de type poêles et inserts dans les maisons individuelles ou accolées 516
8.2.6 systèmes d'émission composites de chauffage 517

8.3 C_Emi_Bilan hydrique 524
8.3.1 Introduction 524
8.3.2 Nomenclature 525
8.3.3 Description mathématique 527

8.4 C_Ein_Détermination des saisons de fonctionnement des systèmes de chaud et de froid 532
8.4.1 Introduction 532
8.4.2 Nomenclature 533
8.4.3 Description mathématique 535

8.5 C_Ein_Programmation des relances des systèmes 537
8.5.1 Introduction 537
8.5.2 Nomenclature 538
8.5.3 Description mathématique 540

8.6 S1_Dist_Assemblage des systèmes de chauffage et de refroidissement 543
8.6.1 Introduction 543
8.6.2 Nomenclature 544
8.6.3 Description mathématique 547

8.7 C-DIST-Gestion/régulation des distributions de chauffage et de refroidissement du groupe 550
8.7.1 Introduction 550
8.7.2 Nomenclature 551
8.7.3 Description mathématique 554

8.8 C-Dist-Distribution de chauffage et de refroidissement du groupe 562
8.8.1 Introduction 562
8.8.2 Nomenclature 563
8.8.3 Description mathématique 566

8.9 C-DIST-Gestion/régulation des distributions intergroupes de chaud et de froid 569

8.9.1 Introduction 569
8.9.2 Nomenclature 570
8.9.3 Description mathématique 574

8.10 C-Dist-Distribution intergroupes de chaud et de froid 584
8.10.1 Introduction 584
8.10.2 Nomenclature 585
8.10.3 Description mathématique 588

8.11 C-Dist-Gestion/régulation des réseaux de distribution des CTA 591
8.11.1 Introduction 591
8.11.2 Nomenclature 592
8.11.3 Description mathématique 596

8.12 C-Dist-Distributions intergroupes des CTA 600
8.12.1 Nomenclature 600
8.12.2 Description mathématique 603

8.13 FA_Classement des réseaux de distribution en ou hors volume chauffé 604
8.13.1 Introduction 604
8.13.2 Principe 604

8.14 S1_Syst_Assemblage de la génération 607
8.14.1 Introduction 607
8.14.2 Nomenclature 608
8.14.3 Description mathématique 611

8.15 C_Gen_Transferts Entre Generateurs Sur Boucle D'eau 613
8.15.1 Introduction 613
8.15.2 Nomenclature 614
8.15.3 Description mathématique 618

8.16 C_GEN_Transferts entre locaux par les générateurs DRV ou thermofrigopompes 628
8.16.1 Introduction 628
8.16.2 Nomenclature 629
8.16.3 Description mathématique 631

8.17 C_GEN_Gestion/régulation de la génération 634
8.17.1 Introduction 634
8.17.2 Nomenclature 637
8.17.3 Description mathématique 645

8.18 C_GEN_Générateur direct à effet joule 671
8.18.1 Introduction 671
8.18.2 Nomenclature 671
8.18.3 Description mathématique 673

8.19 C_GEN_Chaudières_gaz_fioul_bois 675
8.19.1 Introduction 675
8.19.2 Nomenclature 676
8.19.3 Description mathématique 680

8.20 C_GEN_AUTRES_GENERATEURS_A_COMBUSTION 691
8.20.1 Introduction 691
8.20.2 Nomenclature 692
8.20.3 Description mathématique 696

8.21 C_GEN_système de cogénération 708
8.21.1 Introduction 708
8.21.2 Nomenclature 708
8.21.3 Description mathématique 713

8.22 C_GEN_poêles et inserts 725
8.22.1 Introduction 725
8.22.2 Nomenclature 725
8.22.3 Description mathématique 727

8.23 C_GEN_THERMODYNAMIQUE_Elec 729
8.23.1 Introduction 729
8.23.2 Nomenclature 730
8.23.3 Description mathématique 737

8.24 C_GEN_THERMODYNAMIQUE_GAZ 803
8.24.1 Introduction 803
8.24.2 Nomenclature 804
8.24.3 Description mathématique 809

8.25 C_Gen_PAC Moteur_Gaz 871
8.25.1 Introduction 871
8.25.2 Nomenclature 871
8.25.3 Description mathématique 877

8.26 C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques 893
8.26.1 Introduction 893
8.26.2 Nomenclature 895
8.26.3 Description mathématique 900

8.27 C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques de type sol 911
8.27.1 Introduction 911
8.27.2 Nomenclature 912
8.27.3 Description mathématique 914

8.28 C_gen_Réseau de chaleur et de froid 916
8.28.1 Introduction 916
8.28.2 Nomenclature 916
8.28.3 Description mathématique 918

8.29 C_GEN_Calculs génération 922
8.29.1 Introduction 922
8.29.2 Nomenclature 923
8.29.3 Description mathématique 929

8.30 C_GEN_Echangeur_Geocooling 944
8.30.1 Introduction 944
8.30.2 Nomenclature 945
8.30.3 Description Algorithmique 948

8.31 C_Sys_Rafraichissement par geocooling (en groupe non-climatisé) 952
8.31.1 Introduction 952
8.31.2 Nomenclature 953
8.31.3 Description Algorithmique 958

8.32 C_BAT_Fonctionnement/gestion/régulation des brasseurs d'air 970
8.32.1 Introduction 970
8.32.2 Nomenclature 971
8.32.3 Description mathématique 974

8.33 Sn_Methode_VEFA_TCH_Chauffage_Effet_Joule 982
8.33.1 Introduction 982
8.33.3 Nomenclature du modèle 983
8.33.4 Description mathématique 991

9. ECS 998

9.1 S1_BAT_production_instantanée_ECS_(dé)centralisée 998
9.1.1 Introduction 998
9.1.2 Nomenclature 999
9.1.3 Assemblage des composants de la production d'ECS instantanée, centralisée ou décentralisée 1001

9.2 S3_BAT_production_stockage_ECS_(dé)centralisée 1004
9.2.1 Introduction 1004
9.2.2 Nomenclature 1005
9.2.3 Assemblage des composants de la production d'ECS centralisée ou décentralisée avec stockage(s) 1007

9.3 S3_BAT_production_ECS_centralisée_appoints_décentralisés 1010
9.3.1 Introduction 1010
9.3.2 Nomenclature 1011
9.3.3 Assemblage des composants de la production d'ECS centralisée avec appoints décentralisés 1014

9.4 S3_BAT_production_mixte 1016
9.4.1 Introduction 1016
9.4.2 Nomenclature 1017
9.4.3 Assemblage des composants de la production mixte 1019

9.5 C_EMI_Emission_ECS 1021
9.5.1 Introduction 1021
9.5.2 Nomenclature 1022
9.5.3 Description mathématique 1024

9.6 C_EIN_besoins_ECS 1028
9.6.1 Introduction 1028
9.6.2 Nomenclature 1029
9.6.3 Description mathématique 1032

9.7 C_DIS_Distribution_ECS_du_groupe 1045
9.7.1 Introduction 1045
9.7.2 Nomenclature 1046
9.7.3 Description mathématique 1048

9.8 C_DIS_Distribution_ECS_intergroupe 1051
9.8.1 Introduction 1051
9.8.2 Nomenclature 1052
9.8.3 Description mathématique 1055

9.9 C_STO_Ballon_de_stockage 1062
9.9.1 Introduction 1062
9.9.2 Nomenclature 1063
9.9.3 Description mathématique 1067

9.10 C_STO_gestion_régulation_ballon 1076
9.10.1 Introduction 1076
9.10.2 Nomenclature 1077
9.10.3 Description mathématique 1080

9.11 C_STO_échangeur_ballon 1090
9.11.1 Introduction 1090
9.11.2 Nomenclature 1090
9.11.3 Description Algorithmique Pour l'échangeur externe 1093
9.11.4 Description Algorithmique Pour l'échangeur interne 1097

9.12 C_STO_Accumulateur_ECS en eau technique 1100
9.12.1 Introduction 1100

9.12.2 Nomenclature 1101
9.12.3 Description algorithmique 1105

9.13 S1_GEN_générateur_pour_ballon 1123
9.13.1 Introduction 1123
9.13.2 Nomenclature 1124
9.13.3 Assemblage des composants du générateur pour stockage 1125

9.14 S2_ GEN_ Assemblage constitué d'un ou plusieurs ballon et d'un ou plusieurs générateurs 1128
9.14.1 Introduction 1128
9.14.2 Nomenclature 1128
9.14.3 Assemblage des composants 1131

9.15 C_GEN_Boucle solaire 1139
9.15.1 Introduction 1139
9.15.2 Nomenclature 1140
9.15.3 Description mathématique 1142

9.16 S1_GEN_CESCI 1146
9.16.1 Introduction 1146
9.16.2 Nomenclature 1147
9.16.3 Assemblage des composants 1152

9.17 S2_GEN_CESCAI 1172
9.17.1 Introduction 1172
9.17.2 Nomenclature 1173
9.17.3 Assemblage des composants du CESCAI 1177

9.18 C_STO_Gestion-régulation_de_la_Boucle_de_Chauffage_Solaire 1189
9.18.1 Introduction 1189
9.18.2 Nomenclature 1190
9.18.3 Description mathématique 1192

9.19 S2_GEN_Système_Solaire_Combiné_appoint_Chauffage_indépendant 1194
9.19.1 Introduction 1194
9.19.2 Nomenclature 1195
9.19.3 Assemblage des composants 1197

9.20 S2_GEN_Système_Solaire_Combiné_appoint_chauffage raccordé 1204
9.20.1 Introduction 1204
9.20.2 Nomenclature 1205
9.20.3 Assemblage des composants 1207

9.21 C_BAT_Récupérateur de chaleur sur les eaux grises 1214
9.21.1 Introduction 1214
9.21.2 Émetteur Équivalent 1215
9.21.3 Assemblage ballon ECS 1228
9.21.4 DISTRIBUTION d'evacuation DES EAUX GRISES du groupe 1231
9.21.5 DISTRIBUTION d'evacuation INTERGROUPE DES EAUX GRISES 1234
9.21.6 ÉCHANGEUR instantanÉ de chaleur sur les eaux grises 1237
9.21.7 Énergie consommée par la pompe de relevage (ajouts cometh) 1240

9.22 PR1_IdCET_ Saisie des chauffe-eau thermodynamiques à compression électrique 1242
9.22.1 Introduction 1242
9.22.2 Nomenclature 1243
9.22.3 Description mathématique 1247

9.23 PR2_IdCESI_ Saisie des chauffe-eau solaires individuels (Kit CESI) 1262
9.23.1 Introduction 1262
9.23.2 Nomenclature 1263
9.23.3 Description mathématique 1264

9.24 FA_Bâtiments non équipés de production d'eau chaude sanitaire 1266
9.24.1 Introduction 1266
9.24.2 Champ d'application 1266
9.24.3 Prise en compte dans le calcul réglementaire 1266

10. DEPLACEMENT DES OCCUPANTS À L'INTÉRIEUR DU BÂTIMENT 1267

10.1 C_Bat_Ascenseurs 1267
10.1.1 Introduction 1267
10.1.2 Nomenclature du modèle 1268
10.1.3 Description mathématique 1272

10.2 C_Bat_Escalators 1280
10.2.1 Introduction 1280
10.2.2 Nomenclature du modèle 1281
10.2.3 Description mathématique 1283

10.3 C_VEN_Calcul des consommations de ventilation des parcs de stationnement fermés 1289
10.3.1 Introduction 1289
10.3.3 Nomenclature du modèle 1291
10.3.4 Description mathématique 1293

10.4 C_ECL_calcul des consommations d'éclairage des parkings 1297
10.4.1 Introduction 1297
10.4.2 Nomenclature du modèle 1298
10.4.3 Description mathématique 1300

11. PERTES 1303

11.1 C_PER_Pertes et consommations électriques récupérables 1303
11.1.1 Introduction 1303
11.1.2 Nomenclature 1304
11.1.3 Description mathématique 1307

12. PRODUCTION LOCALE D'ELECTRICITE 1309

12.1 S1_PV_installation_PV 1309
12.1.1 Introduction 1309
12.1.2 Nomenclature 1310
12.1.3 Assemblage des composants 1311

12.2 S2_PV_global_PV 1312
12.2.1 Introduction 1312
12.2.2 Nomenclature 1313
12.2.3 Assemblage des composants 1314

12.3 C_PV_capteur_PV 1315
12.3.1 Introduction 1315
12.3.2 Nomenclature 1316
12.3.3 Description mathématique 1319

12.4 C_PV_onduleurs_PV 1322
12.4.1 Introduction 1322
12.4.2 Nomenclature 1323
12.4.3 Description mathématique 1324

13. Calcul des indicateurs 1325

13.1 C_CALC_Sorties du mode Th-B 1325
13.1.1 Introduction 1325
13.1.2 Nomenclature 1326
13.1.3 Description mathématique 1329

13.2 C_CALC_Sorties du mode Th-C 1334
13.2.1 Introduction 1334
13.2.2 Nomenclature 1335
13.2.3 Description mathématique 1340

13.3 C_Sn_Methode_Th_C_Forfait de consommations de refroidissement 1348
13.3.1 Introduction 1348
13.3.2 Nomenclature du modèle 1350
13.3.3 Description mathématique 1352

13.4 C_Calc_Bilans_Energies_Consommees_et_importées 1354
13.4.1 Introduction 1354
13.4.2 Nomenclature 1354
13.4.3 Description mathématique 1357

13.5 C_BAT_Confort_d'été 1364
13.5.1 Introduction 1364
13.5.2 Nomenclature 1365
13.5.3 Description mathématique 1367

13.6 C_CALC_Indicateurs pédagogiques en fonction du nombre d'occupants 1372
13.6.1 Introduction 1372
13.6.2 Nomenclature 1372
13.6.3 Description mathématique 1373

14. GLOSSAIRE 1375

15. SCENARIOS CONVENTIONNELS 1377

Partie I – Methode de calcul Energie

1. GENERALITES

1.1 Introduction

La méthode de calcul Th-BCE a pour objet le calcul réglementaire des coefficients Bbio, Cep, Cep_{nr}, et DH. Elle n'a pas pour vocation de faire un calcul de consommation réelle compte tenu des conventions retenues.

Cette méthode de calcul utilise comme données d'entrée tous les éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements qui sont définis de façon opposable.

Ces données d'entrée des éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements sont constituées de deux types de paramètres différents :

- Des paramètres dits intrinsèques qui correspondent aux caractéristiques propres du composant,
- Des paramètres dits d'intégration correspondants à la mise en œuvre dans le projet étudié.

Par exemple, le coefficient U d'une baie est un paramètre intrinsèque alors que son orientation est un paramètre d'intégration.

Les éléments apportés après la réception du bâtiment ainsi que les paramètres indépendants du bâtiment intervenant dans la méthode de calcul sont définis de façon conventionnelle.

Le coefficient Bbio exprimé en points caractérise l'efficacité énergétique du bâti. Il permet d'apprécier celui-ci par rapport aux besoins de chauffage, de refroidissement et de consommations futures d'éclairage artificiel. Il s'appuie sur la prise en compte des éléments suivants :

- La conception architecturale du bâti (implantation, forme, aires et orientation des baies, accès à l'éclairage naturel des locaux …),
- Les caractéristiques de l'enveloppe en termes d'isolation, de transmission solaire, de transmission lumineuse, d'ouverture des baies et d'étanchéité à l'air,
- Les caractéristiques d'inertie du bâti.

Le coefficient Cep exprimé en kWh/(m².SREF) d'énergie primaire représente les consommations d'énergie de chauffage, de refroidissement, d'eau chaude sanitaire, d'auxiliaires et d'éclairage des bâtiments. Ce coefficient Cep ajoute au coefficient Bbio l'impact des systèmes énergétiques suivants :

- Systèmes de chauffage et de refroidissement, y compris les auxiliaires,
- Systèmes d'eau chaude sanitaire y compris les auxiliaires,
- Auxiliaires de ventilation (l'impact des débits d'air étant pris en compte dans les consommations des systèmes de chauffage et de refroidissement).
- Systèmes d'éclairage,
- Systèmes de production locale d'énergie, y compris les auxiliaires.

L'indicateur degrés-heures (DH) permet d'évaluer l'inconfort pour les occupants (température opérative du groupe située au-dessus de la température de confort adaptatif).

1.2 Architecture des fiches algorithmes

Cette méthode de calcul contient :

- Pour partie des fiches d'application dont le but est de venir préciser comment appliquer la méthode dans certaines configurations. Elles sont nommées FA_ pour Fiche d'Application.
- Pour partie des fiches algorithmes présentant les éléments codés dans le coeur de calcul

Une fiche algorithme est structurée de la façon suivante :

- Introduction : présentation de l'objet de la fiche
- Nomenclature : liste des variables mentionnées dans la fiche algorithme avec dans l'ordre leur nom, une description littérale, l'unité, la plage d'évolution possible du paramètre et enfin, le cas échéant la valeur conventionnelle du paramètre.

  Ces variables sont distinguées par types :

  - Des entrées du composant (ce sont des variables provenant d'autres fiches algorithmes)
  - Des paramètres pour lesquels on distingue ceux dits intrinsèques qui correspondent aux caractéristiques propres du composant de ceux dits d'intégration correspondants à la mise en œuvre dans le projet étudié (Par exemple, le coefficient U d'une baie est un paramètre intrinsèque, indépendant du bâtiment dans lequel elle est placée alors que son orientation est un paramètre d'intégration, dépendant de l'emplacement de la baie dans le bâtiment)
  - Des variables internes (utilisées uniquement dans la fiche algorithme où elles sont mentionnées)
  - Des constantes,
  - et des sorties qui font le lien avec les autres objets du cœur de calcul,
- Description mathématique : Une description mathématique des algorithmes, faisant appel aux variables définies dans la nomenclature

1.3 Divers

1.3.1 REGLE D'ARRONDIS

Les résultats de calculs, intermédiaires ou finaux, doivent être fournis arrondis avec un chiffre après la virgule.

1.3.2 SURFACES UTILISEES DANS LE CALCUL

Certains calculs et l'expression de nombreux indicateurs requièrent l'utilisation de surfaces de référence. $SREF^{bat}$ correspond donc à la surface de référence du bâtiment. Elle est une donnée nécessaire au calcul de la performance énergétique.

Selon l'usage du bâtiment, elle va prendre la valeur de :

- La surface habitable Shab pour les bâtiments résidentiels (usage maison individuelle et logement collectif)
- La surface utile SU pour les autres bâtiments.

Pour différencier ces surfaces selon le niveau de description du bâtiment (groupe, zone, bâtiment) auquel on se réfère, on trouve en exposant le niveau (ex. $SREF^{gr}$ $SREF^{zn}$ $SREF^{bat}$).

2. LES PRINCIPALES DONNEES CONVENTIONNELLES

2.1 LES DONNEES CONVENTIONNELLES D'OCCUPATION ET D'USAGE

Les conditions d'occupation des bâtiments sont définies de façon conventionnelle puisqu'elles ne peuvent être vérifiées sur la base des caractéristiques du bâtiment et de ses équipements énergétiques.

Afin de se rapprocher des données « moyennes », cette méthode de calcul prend en compte la destination des locaux du bâtiment de manière générale (résidentiel, enseignement, bureau…) et de manière plus précise au niveau des différents locaux (salle de réunion, circulations…). Cela signifie que des scénarios conventionnels sont définis au niveau de la zone et d'autres au niveau du local.

Ces données sont décrites sous forme de scénarios temporels horaires. Elles représentent les usages et comportements moyens des occupants d'un bâtiment. L'unité de base est la semaine, avec des modifications liées aux périodes de vacances. Cette méthode de calcul prévoit par exemple pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs une absence des occupants pendant une semaine au mois de décembre.

Les données relatives à l'occupation sont en temps légal. Le temps légal est le temps en usage en France, il est égal au temps solaire avec une heure de plus en hiver et deux heures de plus en été. Cette méthode de calcul gère le passage de l'un à l'autre.

2.1.1 LES SCENARIOS CONVENTIONNELS

2.1.1.1 ***Scénarios conventionnels définis au niveau de la zone***

Les scénarios conventionnels définis au niveau de la zone sont les suivants :

- **Les scénarios de présence** qui indiquent si la zone est ou non occupée. A cette occupation sont liées des températures de consigne en chauffage et en refroidissement, basées sur le réglage par les occupants du thermostat pour les périodes d'occupation, et du gestionnaire (ou d'un système de programmation) pour les périodes d'inoccupation.

Ci-dessous une représentation des températures de consigne dans les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs (chauffage et refroidissement) un jour de semaine. Ces scénarios sont différents le mercredi (présence des occupants l'après-midi) et le week-end (présence continue des occupants).



Figure 1 – Evolution des températures de consigne en chauffage et refroidissement pour l'usage maison individuelle (le lundi)

- **Les scénarios de ventilation** (nécessité ou pas de ventilation pour les occupants), proches des précédents, mais qui permettent une remise en route de la ventilation avant l'occupation, conformément aux réglementations en vigueur pour les usages autres que d'habitation.

- **Les scénarios d'éclairage** (nécessité ou pas d'éclairage artificiel) qui sont basés sur les scénarios de présence en prenant en compte les périodes de sommeil.

Pour ce qui concerne les usages maison individuelle ou accolée et logements collectifs et les chambres des usages : enseignement secondaire (partie nuit), établissements sanitaires avec hébergement et hôtel (partie nuit), le système d'éclairage est entièrement conventionnel. Cela signifie que l'impact sur les consommations énergétiques ne résulte donc que des caractéristiques des baies.

Ci-dessous une représentation de la présence d'éclairage artificiel pour les usages « maisons individuelles ou accolées » et « logements collectifs » sur une journée. Cela ne signifie pas que la méthode prend en compte systématiquement une consommation énergétique d'éclairage durant ces heures. Une consommation énergétique est calculée uniquement lorsque l'éclairement naturel est insuffisant.

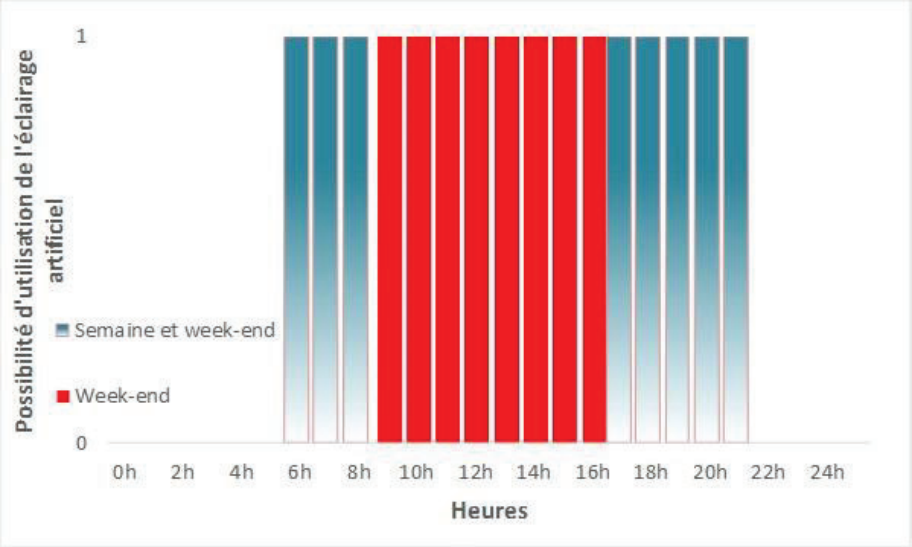


Figure 2 – Horaires d'utilisation possible de l'éclairage artificiel en logement

Les besoins d'eau chaude sanitaire, qui répartissent en profils horaires le besoin hebdomadaire exprimé en litres d'eau à 40 °C qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale.

En ce qui concerne les usages autres que « maison individuelle ou accolée » et « logements collectifs », ces besoins sont calculés en fonction du nombre d'équipements (par exemple le nombre de chambres pour un hôtel).

Pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation conventionnelle. Ce besoin d'eau chaude sanitaire est pris égal à 392 litres à 40°C/adulte/semaine en moyenne. Il est modulé suivant les périodes d'occupation/inoccupation et la période de l'année (été/hiver et périodes de vacances).

Ces besoins sont exprimés par unité de surface. C'est la raison pour laquelle, en ce qui concerne les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, le besoin hebdomadaire est calculé en reliant la densité d'occupation à la surface habitable.

Afin de prendre en compte le fait que les enfants possèdent une demande en eau chaude inférieure à celle des adultes, la notion de nombre d'adultes équivalents a été introduite.

Les résultats obtenus sont illustrés par le graphe suivant pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs :

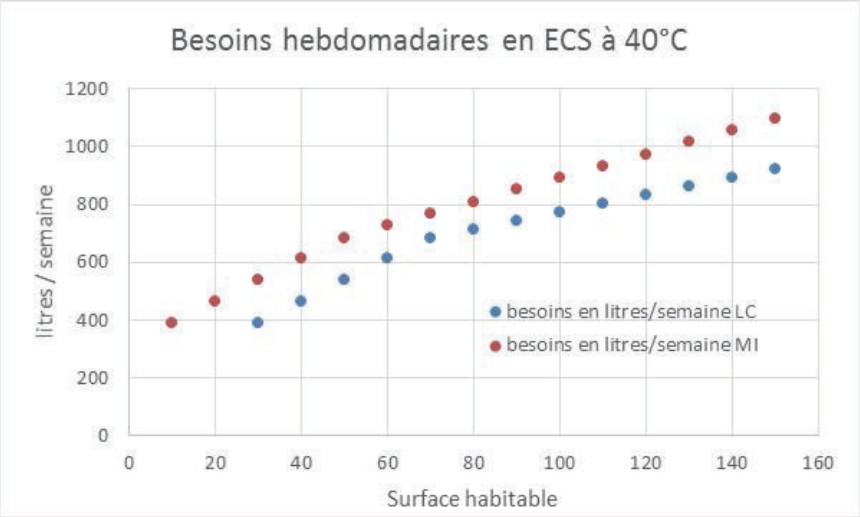


Figure 3 – Evolution des besoins d'eau chaude sanitaire hebdomadaires en fonction de la surface du logement

Ci-dessous une représentation de la répartition du besoin d'eau chaude sanitaire sur une journée dans une maison individuelle de 90 m² habitable.

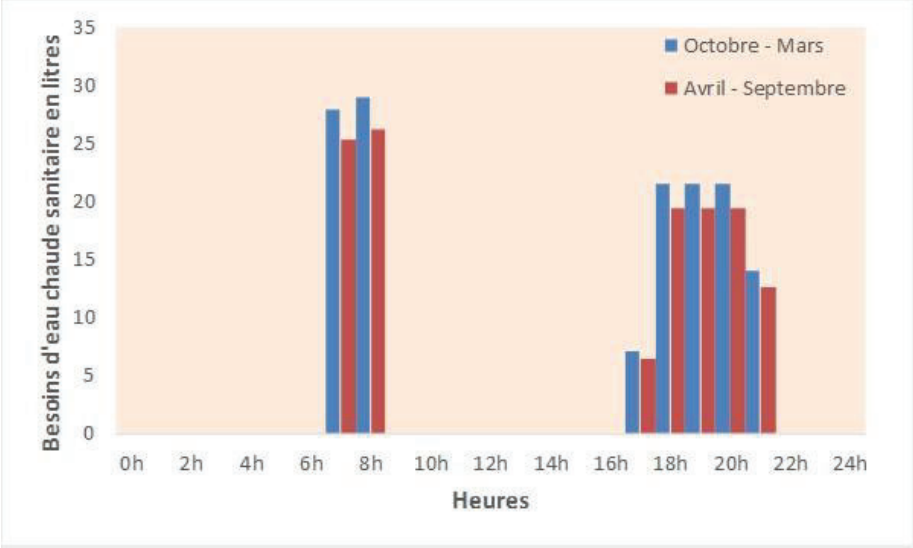


Figure 4 – Evolution des besoins d'eau chaude sanitaire dans une maison de 90m² sur une journée

2.1.1.2 *Scénarios conventionnels définis au niveau des locaux*

Les scénarios conventionnels définis au niveau des locaux sont les suivants :

- **Apports internes de chaleur** liés à la présence humaine qui dépendent du nombre d'occupants du bâtiment et des scénarios de présence. Cette méthode de calcul prend en compte le fait que, dans les « maisons individuelles ou accolées » et les « logements collectifs », les apports soient différents pour les adultes et les enfants, et, pour les deux, plus faibles durant la période de sommeil en introduisant également la notion du nombre d'adultes équivalents. En ce qui concerne les autres usages, suivant le type de bâtiments, le taux d'occupation (nombre de personnes par m²) est déterminé conventionnellement par cette méthode de calcul, ce qui permet d'en déduire directement les niveaux d'apports internes de chaleur.

Cette méthode de calcul considère conventionnellement que le corps d'un adulte au repos dégage une puissance de 90 W et celui d'un adulte en période de sommeil dégage 63 W.

Ci-dessous une représentation des niveaux d'apports internes dus à la présence humaine sur une journée dans une maison individuelle de 90 m² habitable.

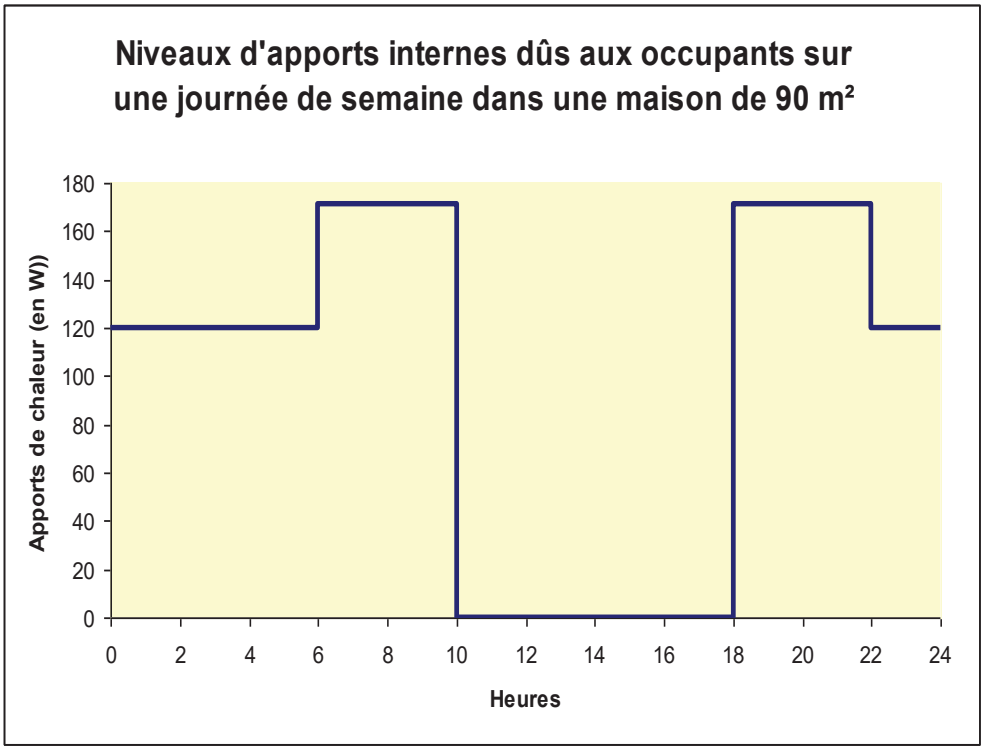


Figure 5 – Evolution des apports internes de chaleur liés aux occupants sur une journée de saemaine dans une maison de 90m²

- **Apports internes d'humidité liés à la présence humaine** qui dépendent du nombre d'occupants du bâtiment et des scénarios de présence. Cette méthode de calcul prend en compte le fait que, dans les « maisons individuelles ou accolées » et « les logements collectifs », les apports soient différents pour les adultes et les enfants, et, pour les deux, plus faibles durant la période de sommeil en introduisant également la notion du nombre d'adultes équivalents. En ce qui concerne les autres usages, suivant le type de bâtiments, le taux d'occupation (nombre de personnes par m²) est déterminé conventionnellement par cette méthode de calcul, ce qui permet d'en déduire directement les niveaux d'apports internes d'humidité.

Cette méthode de calcul considère conventionnellement que le corps d'un adulte au repos dégage une humidité de 0.055 kg/heure et celui d'un adulte en période de sommeil dégage 0.0385 kg/heure.

- **Apports internes de chaleur dus aux équipements** qui représentent la chaleur dégagée par l'ensemble des équipements « mobiliers » (électroménagers, ordinateurs …) qui ont un impact important sur les besoins énergétiques de chaleur et de refroidissement. Ces apports internes dépendent du taux d'équipement des bâtiments. Cette méthode de calcul distingue les apports internes de chaleur liés aux équipements en fonctionnement permanent et ceux liés aux équipements qui fonctionnent uniquement lors des périodes de présence des occupants.

En ce qui concerne les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, conventionnellement, la puissance de chaleur dégagée par l'ensemble des équipements en occupation est prise égale à 5,7 W/m² et celle dégagée par les équipements en période de sommeil et en inoccupation est prise égale à 1,1 W/m². Cette puissance moyenne a été définie en prenant en compte la présence des équipements suivants :

Equipements pris en compte	Apports internes de chaleur en kWh/(m².an)
Cuisson	3,7
Audiovisuel	6,8
Informatique	5,0
Lavage	0,6
Froid (fonctionnement continu)	8,0
Appareils ménagers	2,2
Total	**26.3**

En ce qui concerne les autres usages, chaque catégorie de bâtiment possède son propre taux d'équipement donc des niveaux d'apports internes de chaleur définis séparément et de façon conventionnelle également.

Ci-dessous une représentation des niveaux d'apports internes dus aux divers équipements présents dans une maison individuelle de 90 m² habitable sur une journée.

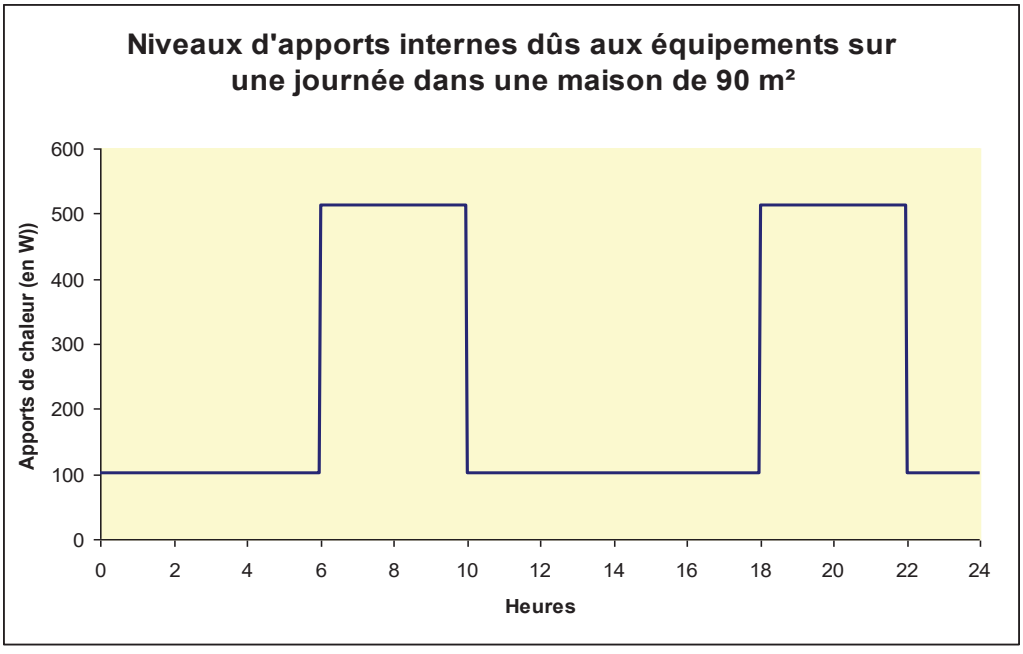


Figure 6 – Evolution des apports internes dus aux équipements sur une journée de semaine dans une maison de 90m²

- **Apports internes d'humidité dus aux équipements** qui représentent l'humidité dégagée par l'ensemble des équipements « mobiliers » (électroménagers, ordinateurs …) qui ont un

impact sur l'efficacité énergétique de certains équipements de refroidissement. Ces apports internes dépendent du taux d'équipement des bâtiments. Conventionnellement, les bâtiments à usage d'habitation ont des apports internes d'humidité nuls. En ce qui concerne les bâtiments à usage autre que d'habitation, ces apports internes sont dépendants du type de bâtiments et des périodes d'occupation/inoccupation.

2.1.1.3 *Synthèse des scénarios*

Zone	Plage d'occupation /zone - Horaire chauffage/refroidissement	Température de consigne chaud/zone			Température de consigne froid/zone			Horaire éclairage zone	Horaire ventilation zone	Locaux	Ratio par défaut surface utile du local/surface utile du goupe (%)	Nombre occupants *nominal* /m² utile par local	Apports internes de chaleur liés aux équipements en période d'occupation (hors éclairage) W/m² utile	Apports internes de chaleur liés aux équipements hors période d'occupation (hors éclairage) W/m² utile	Besoin unitaire hebdomadaire en ECS à 40°C
		confort	réduit court	réduit long	confort	réduit court	réduit long								
Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	24h/24 ; 7j/7 (inoccupé 1 semaine en décembre)	19	16	16	26	30	30	éclairage artificiel autorisé de 6h à 9h et de 17h à 22h en semaine	Idem occupation	Logements	90	Voir fiche algo	5,7	1,14	
										Circulation	10		0	0	
Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle ou accolée	24h/24 ; 7j/7 (innocupé 1 semaine en décembre)	19	16	16	26	30	30	éclairage artificiel autorisé de 6h à 9h et de 17h à 22h en semaine	Idem occupation	Maison individuelle	100	Voir fiche algo	5,7	1,14	
Bureaux	Lun - Ven 7h-19h	19	16	7	26	30	30	Idem occupation	Idem occupation	Bureau	60	0,1	16	1,6	1,25 L/m² de surface utile
										Salle de réunion	10	0,42	10	0	
										Circulation Accueil	26	0	0	0	
										Sanitaires collectifs	3	0	0	0	
Enseignement primaire	Lun - Ven 8h-17h inoccupé en vacances scolaires hors juillet-août (occupé à 50%)	19	16	7	26	30	30	Idem occupation	Idem occupation	Salle de classe	55	0,66	0	0	0,2 L/m² de surface utile
										Bureau	10	0.067	16	1,6	
										Salle de réunion	5	0,42	10	0	
										Salle de repos	15	0,67	0	0	
										Circulation Accueil	10	0	0	0	
										Sanitaires - vestiaire	5	0	0	0	
Enseignement secondaire (partie jour)	Lun - Ven 8h-18h; Sam 8h-12h - innocupé en vacances scolaires hors été	19	16	7	26	30	30	Idem occupation	Idem occupation	Salle de classes	25	0,67	0	0	0,2 L/m² de surface utile
										Salle de réunion	10	0,42	10	0	
										Salle enseignement informatique	5	0,335	26	2,60	
										Salle de conférence salle polyvalente	15	0.33	10	0	
										Bureau standard	10	0.1	16	1,60	
										Centre de documentation	5	0.1	5	0,5	
										Salle des professeurs	5	0.67	0	0	
										Circulation Accueil	20	0	0	0	
										Sanitaires collectifs	5	0	0	0	

Le détail de ces scénarios est décrit dans le §15 de la présente annexe.

2.1.2 LES AUTRES CONVENTIONS D'USAGE

En parallèle aux scénarios décrits ci-avant, certains aspects de l'impact de l'occupant sont directement intégrés dans cette méthode de calcul. Pour certains cas ces actions manuelles sont mises en relation avec les automatismes correspondant aux mêmes actions.

Ces autres conventions sont détaillées dans le §2.2.1 de l'annexe II du présent arrêté.

DESCRIPTION DE LA METHODE DE CALCUL - FICHES ALGORITHME DES COMPOSANTS ET DES ASSEMBLAGES

3. METEO ET ENVIRONNEMENT EXTERIEUR

3.1 C_EEX_Climat exterieur

3.1.1 INTRODUCTION

La présente fiche a pour objet de mettre à disposition du moteur de calcul les données météorologiques d'entrée nécessaires au calcul réglementaire.

La procédure décrite ici vise à attribuer à chaque pas de temps les données météorologiques relatives à chaque projet en fonction :

- Du département
- De l'altitude

Une fois ces informations renseignées, la procédure permet d'attribuer à chaque pas de temps :

- Les données relatives au temps
- la température extérieure de l'air sec et son humidité,
- les données solaires (position du soleil, rayonnement direct normal et diffus horizontal)
- les données d'éclairement
- la donnée de rayonnement froid vers la voute céleste,
- le poids d'eau,
- la vitesse du vent
- la direction du vent.

3.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 1 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
Htsm	Heure pour le calcul annuel (UTC+1)	

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Htsmd	heure de début du pas de temps en UTC		0	8759	-
Htsmf	heure de fin du pas de temps en temps UTC		1	8760	-
Jour_mois	Le jour du mois		1	31	-
jsem	Numéro du jour de la semaine, 1 correspond au lundi		1	7	-
EHLO	Nombre d'heure de décalage entre l'heure légale et l'heure UTC		1	2	-
IHJ	L'heure du jour		1	24	-
IHS	L'heure de la semaine		1	168	-
ISEM	Le numéro de la semaine		1	52	-
IMOIS	Le numéro du mois		1	12	-
Jour_année	Le numéro du jour de l'année		1	365	-
Te0	Température extérieure d'air sec au niveau de la mer	°C	-20	50	-
Hr0	Humidité relative	%	0	100	-
we0	Poids d'eau au niveau de la mer	g/kg as	0	25	-
$Rdirn_{Dn}$	Rayonnement direct normal au rayonnement solaire	W/m²	0	1370	-
Rdiff	Rayonnement diffus horizontal	W/m²	0	1370	-
Te_{ciel}	Température du ciel	°C	-	-	-
dTeciel	différence température du ciel – température d'air	K	-	-	-
Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s	0	-	-
dirVent	Direction du vent	deg	-	-	-
□	Hauteur du soleil	rd	0	□□□	-
□	Orientation du soleil par rapport au sud (lever négatif)	rd	-□	+□	-
Lat	Latitude	deg	-	-	-
Long	Longitude	deg	-	-	-
Teau0	Température d'alimentation en ECS à l'altitude zéro	°C	-	-	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
département	Numéro du département		1	95	-
Alt	Altitude du projet	m	0	-	-
Dmer	Distance à la mer	km	0	-	-
Durb	Distance à l'îlot urbain	km	0	-	-
Mode	Mode de calcul (0-Th-B / 4-Th-D (nouvel indicateur) / 5-Th-BCD)	-	0	5	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
	Htsmd	heure de début du pas de temps en temps UTC	
	Htsmf	heure de fin du pas de temps en temps UTC	
	Jour_mois	Le jour du mois	
	jsem	Numéro du jour de la semaine, 1 correspond au lundi	
	EHLO	Nombre d'heure de décalage entre l'heure légale et l'heure UTC	
	IHJ	L'heure du jour en temps UTC	
	IHS	L'heure de la semaine	
	ISEM	Le numéro de la semaine	
	IMOIS	Le numéro du mois	
	Jour_année	Le numéro du jour de l'année	
	Te	Température extérieure d'air sec pour le site	°C
	we	Poids d'eau pour le site	kg/kg as
	I_{Dn}	Rayonnement direct normal au rayonnement solaire	W/m²
	Idi	Rayonnement diffus horizontal	W/m²
	Te_{ciel}	Température du ciel	K
	Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s
	dirVent	direction du vent	deg
	□	Hauteur angulaire du soleil au dessus de l'horizon	radian
	□	Angle horaire du soleil avec le midi pour origine, sens horaire (négatif au lever, positif au coucher)	radian
	Lat	Latitude	deg
	Long	Longitude	deg
	Teau	Température d'alimentation en ECS	°C
	E_{Dn}	Eclairement normal au rayonnement	Lux
	Edi	Eclairement diffus horizontal	Lux
	Hleg	Heure légale	h
	$□_{base\_ext}$	Température extérieure de base (corrigée par l'altitude)	°C
Confort d'été	$Is_{conf\_adapt}(h)$	Indicateur de période de confort adaptatif 0 - hors période de confort adaptatif 1 - en période de confort adaptatif	-
	$\theta_{rm}(j)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j.	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité		
$□_{base\_ext\_0}$	Température de base pour le département associé à l'altitude 0m.	°C		
Pvs	Pression de vapeur saturante	hpa		
$\theta_{rm}(j-1)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j-1.	°C		
$\theta_{ei,moy}(j)$	Température moyenne extérieure journalière valable au jour j (calculée sur l'ensemble des températures horaires du jour j-1).	°C		
Premier_jour	Premier jour et dernier jour de la période de confort adaptatif	j	0	365
Dernier_jour		j	0	365
premier_trouvé	Variable booléenne permettant de stopper l'algorithme itératif de calcul du premier jour et du dernier jour de la	-	-	-

	période de confort adaptatif				
dernier_trouvé		-	-	-	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
P	Pression atmosphérique	hpa	1013

Tableau 1 : Nomenclature du modèle

3.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les données de sortie de même nom que les données d'entrée ont la même valeur.

Pour les autres données de sortie, les calculs sont les suivants

Calcul de la température de base extérieure

En fonction du département il est affecté une température de base à chaque département selon le tableau suivant :

Département	Température de base $\theta_{base\_ex\_0}$
01, 02, 03, 05, 08, 10, 14, 15, 19, 21, 23, 25, 27, 28, 38, 39, 42, 43, 45, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95.	-9
04, 07, 09, 12, 16, 17, 18, 22, 24, 26, 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 40, 41, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 56, 64, 65, 72, 79, 82, 81, 84, 85, 86.	-6
06, 11, 13, 2A, 2B, 30, 34, 66, 83	-3

La température de base est constante pour toute la simulation. Elle fait également l'objet d'une correction d'altitude.

Calcul de l'heure légale

Il est bien entendu que cette heure doit être strictement inférieure à 24h.

En hiver, le décalage est d'une heure. Lorsque l'heure solaire est de 12h alors l'heure légale est de 13h. L'heure solaire de 23 à 0 de la veille est donc l'heure légale de 0 à 1h du jour.

En été, le décalage est de deux heures. Lorsque l'heure solaire est de 12h l'heure légale est de 14 heures. L'heure solaire de 22 à 23h la veille est donc l'heure légale de 0 à 1h du jour et l'heure solaire de 23 à 0h de la veille est l'heure légale du jour de 1h à 2h.

Hleg =Ihj+EHLO

Correction d'altitude.

La correction d'altitude se fait en appliquant les formules suivantes :

$$\theta_{base\_ext} = \theta_{base\_ext\_0} - 0.005 * alt_{corr}$$

$$Te = Te0 - 0.005 * altcorr$$

$$we = (we0 - 0.0025 * altcorr)/1000$$

$$Teau = Teau0 - 0.005 * altcorr$$

Le paramètre alt_{corr} prend les valeurs suivantes :

- Si l'altitude est inférieure ou égale à 400m, le site est considéré à 100m et alt_{corr} = 100m.
- Si l'altitude est comprise entre 400m et 800m inclus, le site est considéré à 500m, alt_{corr} = 500m.
- Si l'altitude est supérieure à 800m, le site est considéré à 900m, alt_{corr} = 900m.

Calcul des données E_{Dn} et Edi

$E_{Dn} = I_{Dn}*(-1.03753210E-08x\gamma^6 + 2.90312257E-06x\gamma^5 - 3.31804423E-04x\gamma^4 + 1.99283162E-02x\gamma^3 - 6.72171072E-01x\gamma^2 + 1.24650445E+01x\gamma + 2.38954889E+00)$

Si I_{Dn} <1 W/m2 Edi = 124 Idi

Si I_{Dn} > 120 W/m2 Edi = 128 Idi

Sinon Edi = 116 Idi

Détermination de la période de confort adaptatif

Dans un premier temps, on calcule θ_{rm}(j), la moyenne glissante au jour *j* de la température extérieure. Cette moyenne est calculée au premier pas de temps du jour j (*h* tel que *IHJ*=1) et reprise pour l'ensemble des autres pas de temps du jour.

Si IHJ = 1,

$$\theta_{rm}(j) = 0$$

Sinon, (1)

$$\theta_{ei,moy}(j) = \frac{\sum_{j-1} T_e\,(h)}{24}$$

$$\theta_{rm}(j) = 0.8 \times \theta_{rm}(j-1) + 0.2 \times \theta_{ei,moy}(j)$$

Le bâtiment est en « période de confort adaptatif » lorsque la température limite d'inconfort chaud est supérieure à la température de consigne de refroidissement, ce qui équivaut aux jours où la $\theta_{rm}(j)$ est supérieure à 16°C. L'algorithme de calcul est le suivant :

Recherche du premier jour

$j = 0$

$premier\_trouvé = faux$

Si $premier\_trouvé = faux$

  Si $\theta_{rm}(j) \geq 16°C$

    $premier\_trouvé = vrai$

    $premier\_jour = j$

$j = j + 1$

Recherche du dernier jour

$j = 365$

$dernier\_trouvé = faux$

Si $dernier\_trouvé = faux$

Si $\theta_{rm}(j) \geq 16°C$

$dernier\_trouvé = vrai$

$dernier\_jour = j$

$j = j - 1$

Lorsque les jours de début et de fin de période de confort adaptatif sont trouvés,

Si $premier\_jour \leq j \leq dernier\_jour$

$$Is_{conf\_adapt}(h) = 1 \quad (2)$$

Sinon

$$Is_{conf\_adapt}(h) = 0$$

Vitesse du vent

La vitesse de vent *Vent(h)* est issue du fichier météo

3.2 C_EEX_environnement_proche

3.2.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme concerne le calcul du rayonnement solaire et le calcul de l'éclairement naturel sur une paroi compte tenu de la présence éventuelle de masques, architecturaux ou lointains.

Les masques lointains sont applicables sur l'ensemble des composants parois opaques, ponts thermiques et baies, ainsi les parois d'espace tampon, les capteurs solaires photovoltaïque et les capteurs solaires thermiques, quelles que soient leurs inclinaisons.

Les masques proches ne sont applicables que sur les parois opaques, les ponts thermiques, les baies et les parois vitrées d'espace tampon verticaux (inclinaison égale à 90°).

Les phases du calcul sont les suivantes :

- calcul du rayonnement solaire direct sur la paroi, sans masques,
- calcul du rayonnement solaire diffus sur la paroi, sans masques,
- calcul du rayonnement solaire réfléchi par le sol sur la paroi, sans masques,
- calcul de l'éclairement naturel direct sur la paroi, sans masques,
- calcul de l'éclairement naturel diffus sur la paroi, sans masques,
- calcul de l'éclairement naturel réfléchi par le sol sur la paroi, sans masques,
- prise en compte des masques solaires. Six types de masques sont considérés :

  - masque lointain défini par tranches azimutales,

  - masque lointain constitué d'arbres à feuilles caduques,

  - masque lointain de type plan vertical éloigné, caractérisé par l'angle sous lequel le masque est vu,

  - masques proches verticaux droite et/ou gauche ; considérés comme infinis, caractérisés par leur débord et leur distance à la paroi étudiée,

  - masque proche horizontal ; considéré comme infini, caractérisé par son débord et sa distance à la paroi étudiée,

Il est possible de prendre en compte une combinaison d'un masque proche horizontal et de masques proches verticaux.

- Calcul du rayonnement direct, du rayonnement diffus et réfléchi par le sol, sur la paroi compte tenu des masques.
- Calcul de l'éclairement direct, de l'éclairement diffus et réfléchi par le sol, sur la paroi compte tenu des masques.

On calcule également la correction locale de la vitesse du vent, le rayonnement froid de la voûte céleste et la température d'eau froide utilisée pour l'ECS.

Dans tous les calculs les angles sont en radians.

3.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 2 donne la nomenclature des différentes variables du composant.

Entrées du composant		
Nom	**Description**	**Unité**
I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
γ	Hauteur du soleil	rd
E_{Dn}	Eclairement naturel direct normal	Lux
Edi	Eclairement naturel diffus horizontal	Lux
Te_{ciel}	Température du ciel	°C
Te	Température extérieure d'air sec	°C
we	Poids d'eau	kg/kg as
Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s
Dir_{vent}	Direction du vent	°

Paramètres intrinsèques du composant					
Nom	**Description**	**Unité**	**Min**	**Max**	**Conv.**

Paramètres d'intégration du composant					
Nom	**Description**	**Unité**	**Min**	**Max**	**Conv.**
α	Azimut de la paroi considérée, ev, (0° : Sud ; 90° : Ouest ; 180° : Nord ; 270° : Est) Orientation du masque, dans le cas d'un masque vertical lointain pour une paroi horizontale	°	0°	360	-
β	Inclinaison de la paroi considérée, ev, (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale, 180° : horizontal vers le bas)	°	0°	180	-
lp_b	Largeur de la paroi	m	0	+∞	-
hp_b	Hauteur de la paroi	m	0	+∞	-
alb	Albédo du sol pour le rayonnement solaire	-	0	1	0,2
alb_{ecl}	Albédo du sol pour l'éclairement naturel	-	0	1	0,2
	Pour masque vertical droit				
d_{vd}	Profondeur du masque proche vertical droit	m	0	+∞	
d_{pd}	Distance entre la paroi et le masque proche vertical droit	m	0	+∞	
	Pour masque vertical gauche				

d_{vg}	Profondeur du masque proche vertical gauche	m	0	+∞	
d_{pg}	Distance entre la paroi et le masque proche vertical gauche	m	0	+∞	
	Pour masque proche horizontal				
d_{hm}	Profondeur du masque proche horizontal	m	0	+∞	
d_{hp}	Distance entre la paroi et le masque proche horizontal	m	0	+∞	
	Pour masque vertical lointain				
d_E	Distance entre le masque vertical lointain et la paroi	m	0	+∞	
hp_E	Hauteur du masque lointain vertical par rapport au centre de la paroi	m	0	+∞	
	Pour masque vertical par tranches azimutales				
Az	Angle des différentes tranches Azimutales	°	-	-	
γ_i	Hauteur en (°) de l'horizon vu du centre de la paroi intégrant les masques naturels et urbains existants et futurs pour chaque tranche azimutale	°	0	90	
$T_{\_simul\_déb\_veg}$	Heure de simulation à partir de laquelle on considère que les arbres à feuilles caduques portent des feuilles (début de saison végétative)	h	0	8760	2161
$T_{\_simul\_fin\_veg}$	Heure de simulation à partir de laquelle on considère que les arbres à feuilles caduques ne portent plus de feuilles (fin de saison végétative)	h	0	8760	6553
N_{masque}	Nombre de masques protégeant la paroi k	-	0	7	-
$Id_{\_masque[Nmasque]}$	Identifiant des masques	-	-	-	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Te	Température extérieure d'air sec	°C
we	Poids d'eau	kg/kg as
Ventc	La vitesse du vent corrigée à 10 m de hauteur	m/s
Dirvent	Direction du vent	°
Te_{ciel}	Température du ciel	**°C**
$\Theta_{,ev}$	Angle entre le soleil et la normale à la paroi considérée	rd
$Drp^{*}{}_{,ev}$	Rayonnement direct atteignant une paroi	W/m²
$Dfp^{*}{}_{,ev}$	Rayonnement diffus atteignant une paroi	W/m²
$Rrp^{*}{}_{,ev}$	Rayonnement réfléchi atteignant une paroi	W/m²
$Erp^{*}{}_{,ev}$	Eclairement direct atteignant une paroi	Lux
$Efp^{*}{}_{,ev}$	Eclairement diffus atteignant une paroi	Lux
$Errp^{*}{}_{,ev}$	Eclairement réfléchi atteignant une paroi	Lux
$ETp^{*}{}_{,ev}$	Eclairement total atteignant une paroi	Lux
Q_{er}^{*}	Densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi	W/m²

γ'^{b}	Hauteur du soleil corrigée pour la baie b.	°
Jour_astro	Période du jour pendant laquelle le soleil est au dessus de l'horizon	-
Isr_horiz*	Rayonnement global horizontal incident	W/m²

Variables internes

Nom	Description	Unité
ev	Indice de l'élément d'enveloppe	-
Cvent	Correction locale de la vitesse du vent. Valeur conventionnelle fixée à 0,9	-
Drp	Rayonnement direct incident	W/m²
Dfp	Rayonnement diffus incident	W/m²
Rrp	Rayonnement réfléchi incident	W/m²
Erp	Eclairement direct incident	Lux
Efp	Eclairement diffus incident	Lux
Errp	Eclairement réfléchi incident	Lux
FfDir	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct	-
FfDiff	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus	-
FfRp	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire réfléchi	-
$F_{vd,dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû au masque proche vertical droit	-
$F_{vg,dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû au masque proche vertical gauche	-
$F_{vd,dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû au masque proche vertical droit	-
$F_{vg,dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû au masque proche vertical gauche	-
$F_{h\text{-}dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû au masque proche horizontal	-
$F_{h\text{-}dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû au masque proche horizontal	-
$F_{E\text{-}LV\text{-}dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû au masque lointain défini par un plan vertical	-
$F_{E\text{-}LV\text{-}dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû au masque lointain défini par un plan vertical	-
$F_{E\text{-}Az,dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû aux masques lointains définis par tranches azimutales	-
$F_{E\text{-}Az,dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû aux masques lointains définis par tranches azimutales	-
$F_{E\text{-}Az\_cad,dir}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû aux masques lointains constitués d'arbres à feuilles caduques définis par tranches azimutales	-
$F_{E\text{-}Az\_cad,dif}$	Facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus dû aux masques lointains constitués d'arbres à feuilles caduques définis par tranches azimutales	-

$\Phi^k(h)$	Azimut du soleil par rapport à l'azimut du composant d'enveloppe k.	Rad
ψ'	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud) (0°: Sud ; 90° : Ouest ; 180° : Nord ; 270° : Est)	Rad

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
H_{re}	Coefficient d'échange radiatif extérieur	W/m²/K	5.5

Tableau 2 : Nomenclature des différentes variables du modèle

3.2.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Conversion des angles an radians

Orientation du masque	$\alpha \cdot \pi / 180$
Inclinaison du composant	$\beta \cdot \pi / 180$
Hauteur sur l'horizon des masques par tranches azimutale	$\gamma_i \cdot \pi / 180$

Prise en compte des masques

Le composant 'environnement proche' calcule les rayonnements solaires et les éclairements dans la direction de la paroi, prend en compte les masques éventuels, pour finalement aboutir aux rayonnements et aux éclairements incidents sur la paroi.

Chaque composant peut être protégé par un à six types de masques :

- masque proche vertical, droite et gauche,
- masque proche horizontal,
- masque vertical lointain,
- masque vertical lointain par tranche d'azimut,
- masque constitué d'arbres à feuilles caduques.

Il est possible de prendre en compte une combinaison d'un masque proche horizontal et de masques proches verticaux.

Pour décrire un masque il convient de décrire ses paramètres d'intégration.

Avant le calcul des masques tous les facteurs d'affaiblissement sont forcés à 1, ainsi seuls les masques décrits ont un impact sur les calculs.

Cas particulier des ponts thermiques

Les ponts thermiques peuvent se voir appliquer des masques lointains quels que soient leur inclinaison et leur profil. Il conviendra alors d'adopter une description détaillée de ses derniers (voir fiche « *C_Bat_Ponts thermiques* »).

Pour les masques proches, seuls les ponts thermiques « verticaux » (par exemple les linéaires entre deux façades) sont concernés. Le pont thermique est alors modélisé sous la forme d'une paroi opaque verticale dont l'orientation est celle définie au niveau du pont thermique et dont la largeur est conventionnellement fixée à 30 cm.

Calcul des hauteurs de soleil corrigées pour les composants d'enveloppe

A chaque pas de temps, la prise en compte des protections mobiles à lames inclinées nécessite d'attribuer aux composants d'enveloppe une valeur de hauteur de soleil corrigée (ou angle de profil), prenant en compte l'azimut du soleil et l'orientation du composant. Cette grandeur est notée $\gamma^k(h)$, et s'exprime en ° d'angle.

Soient :

- α^k l'azimut du composant considéré par rapport au sud (en rad), ramené dans $[-\pi ; \pi]$,
- $\psi(h)$, l'azimut du soleil par rapport au sud (en rad), ramené dans $[-\pi ; \pi]$,
- $\gamma(h)$, la hauteur du soleil (en rad).

$$\varphi^k(h) = \psi(h) - \alpha^k \text{ (rad)} \qquad (3)$$

Si $|\varphi^k(h)| \geq \frac{\pi}{2}$, $\gamma'^k(h) = 90$ (°)

Sinon, (4)

$$\gamma'^k(h) = \frac{180}{\pi} \times Arc\,tan\left(\frac{tan(\gamma(h))}{cos(\varphi(h))}\right) \quad (°)$$

3.2.3.1 *Calcul des hauteurs de soleil corrigées pour les baies*

Chaque pas de temps, la prise en compte des protections mobiles à lames inclinées nécessite d'attribuer aux composants baies une valeur de hauteur de soleil corrigée (ou angle de profil), prenant en compte l'azimut du soleil et l'orientation de la baie. Cette grandeur est notée γ'^b(h), et s'exprime en ° d'angle.

$$\varphi^b(h) = \psi(h) - \alpha^b \text{ (rad)} \quad (5)$$

$$\gamma'^b(h) = \frac{180}{\pi} \times Arc\,tan\left(\frac{tan(\gamma(h))}{cos(\varphi(h))}\right) (°) \quad (6)$$

Azimut du soleil

ψ', l'angle du soleil par rapport au sud avec 0°: Sud ; 90° : Ouest ; 180° : Nord ; 270° : Est, est déterminé par rapport à ψ, l'angle du soleil par rapport au sud, sens horaire (négatif au lever, positif au coucher).

3.2.3.2 *Calcul du rayonnement solaire direct*

La donnée d'entrée étant le rayonnement direct normal, I_{Dn}, on calcule l'angle entre ce rayonnement et la normale à la paroi. On en déduit le rayonnement sur le plan étudié, Drp

- Calcul de l'angle entre le soleil et la normal à la paroi étudiée :

$$\theta = min\left[\frac{\pi}{2}; Arc\,cos(cos(\gamma) \cdot sin(\beta) \cdot cos(\psi' - \alpha) + sin(\gamma) \cdot cos(\beta))\right] \quad (7)$$

- Calcul de Drp sur le plan étudié :

$$Drp = cos(\theta) \cdot I_{Dn} \quad (8)$$

3.2.3.3 *Calcul du rayonnement solaire diffus*

Compte tenu de l'hypothèse d'isotropie du rayonnement diffus, le rayonnement atteignant l'orientation considérée, Dfp, n'est fonction que de son inclinaison et du rayonnement diffus isotrope I_{di} :

$$Dfp = I_{di} \cdot 0{,}5 \cdot (1 + cos(\beta)) \quad (9)$$

3.2.3.4 *Calcul du rayonnement solaire réfléchi par le sol*

Le rayonnement solaire réfléchi par le sol est supposé isotrope. Le rayonnement réfléchi atteignant l'orientation considérée, Rrp, n'est fonction que de son inclinaison, de l'albédo du sol et du rayonnement global horizontal (I_{Dh} + I_{di}) :

$$Rrp = (I_{Dh} + I_{di}) \cdot alb \cdot 0{,}5 \cdot (1 - |cos(\beta)|) \quad (10)$$

Avec :

$$I_{Dh} = I_{Dn} \cdot sin(\gamma) \quad (11)$$

3.2.3.5 *Calcul de l'éclairement naturel direct*

La donnée d'entrée étant l'éclairement direct normal, E_{Dn}, on calcule l'angle entre cet éclairement et la normale à la paroi. On en déduit l'éclairement sur le plan étudié, Erp.

- Calcul de l'angle entre le soleil et la normal à la paroi étudiée :

$$\theta = min\left[\frac{\pi}{2}; Arc\,cos(cos(\gamma) \cdot sin(\beta) \cdot cos(\psi' - \alpha) + sin(\gamma) \cdot cos(\beta))\right] \quad (12)$$

- Calcul de Erp sur le plan étudié :

$$Erp = cos(\theta) \cdot E_{Dn} \quad (13)$$

3.2.3.6 *Calcul de l'éclairement naturel diffus*

Compte tenu de l'hypothèse d'isotropie de l'éclairement diffus, l'éclairement atteignant l'orientation considérée, Efp, n'est fonction que de son inclinaison et de l'éclairement diffus isotrope E_{di} :

$$Efp = E_{di} \cdot 0{,}5 \cdot (1 + cos(\beta)) \quad (14)$$

3.2.3.7 *Calcul de l'éclairement naturel réfléchi par le sol*

L'éclairement réfléchi par le sol est supposé isotrope. L'éclairement réfléchi atteignant l'orientation considérée, Errp, n'est fonction que de son inclinaison, de l'albédo du sol et de l'éclairement global horizontal ($E_{Dh} + E_{di}$) :

$$Errp = (E_{Dh} + E_{di}) \cdot alb_{ecl} \cdot 0{,}5 \cdot (1 - |cos(\beta)|) \quad (15)$$

Avec :

$$E_{Dh} = E_{Dn} \cdot sin(\gamma) \quad (16)$$

3.2.3.8 *Correction locale de la vitesse du vent à 10 m de hauteur*

Ventc = Vent.Cven

Avec conventionnellement : Cvent = 0,9

3.2.3.9 *Calcul du rayonnement froid vers la voûte céleste*

$$Q_{er}{}^{*} = h_{re} \cdot (T_{eciel} - T_e).max(cos(\beta), 0) \quad (17)$$

3.2.3.10 *Calcul de la durée du jour*

Si $\gamma \geq 0.0001$, alors,

Jour_astro = 1

Sinon,

Jour_astro = 0 (18)

3.2.3.11 *Masques proches verticaux*

Ce type de masques est associé uniquement aux parois opaques, baies, parois d'espace tampon et ponts thermiques verticaux (voir Figure 7). Pour la suite, l'indice d indique la partie droite et l'indice g indique la partie gauche

3.2.3.11.1 Rayonnement solaire direct et éclairement naturel direct

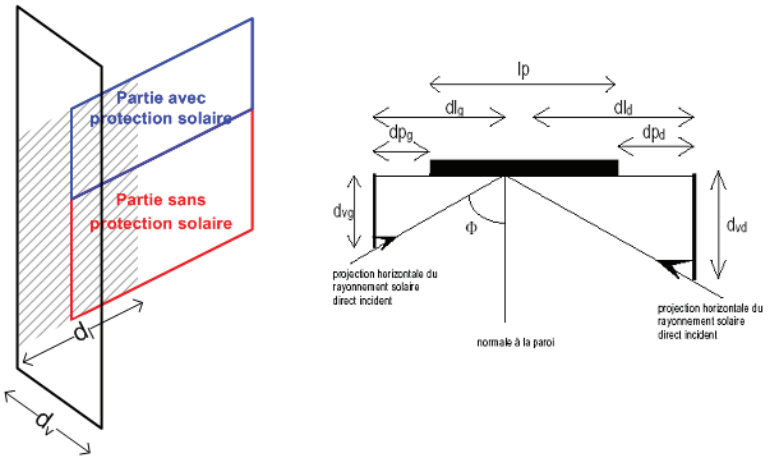


Figure 7 : Masques proches verticaux

Les facteurs d'affaiblissement du rayonnement solaire direct incident, $F_{vg,dir}$ et $F_{vd,dir}$, sont calculés comme suit :

- Si $\beta = \frac{\pi}{2}$ (composant vertical)

$$\phi = \psi' - \alpha$$

- Si $\cos(\phi) \geq 10^{-5}$ (si entrée du soleil dans le plan concerné)

- si $d_{vg} > 0$

$$d_{lg} = Max\left(0;\ d_{vg} \times tg\ (\phi)\right)$$

$$F_{vg,dir} = Min\left[Max\left(0;\ 1 - \frac{d_{lg} - d_{pg}}{l_p}\right);1\right]$$

- si $d_{vg} \leq 0$ (19)

$$F_{vg,dir} = 1$$

- si $d_{vd} > 0$

$$d_{ld} = Max\left(0;\ -d_{vd} \times tg\ (\phi)\right)$$

$$F_{vd,dir} = Min\left[Max\left(0;\ 1 - \frac{d_{ld} - d_{pd}}{l_p}\right);1\right]$$

- si $d_{vd} \leq 0$

$$F_{vd,dir} = 1$$

- Si $\cos(\phi) < 10^{-5}$

$$\begin{cases} F_{vd,dir} = 1 \\ F_{vg,dir} = 1 \end{cases}$$

- Si $\beta \neq \frac{\pi}{2}$ (composant non vertical)

$$\begin{cases} F_{vd,dir} = 1 \\ F_{vg,dir} = 1 \end{cases}$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel direct que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.11.2 Rayonnement solaire diffus et éclairement naturel diffus

Les facteurs d'affaiblissement pour le rayonnement solaire diffus et pour l'éclairement diffus ne sont pas pris en compte.

$$F_{vg,dif} = 1$$

$$F_{vd,dif} = 1$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel diffus que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.12 *Masque proche horizontal*

Ce type de masques est associé uniquement aux parois opaques, baies, parois d'espace tampon et ponts thermiques verticaux.

3.2.3.12.1 Rayonnement solaire direct et éclairement naturel direct

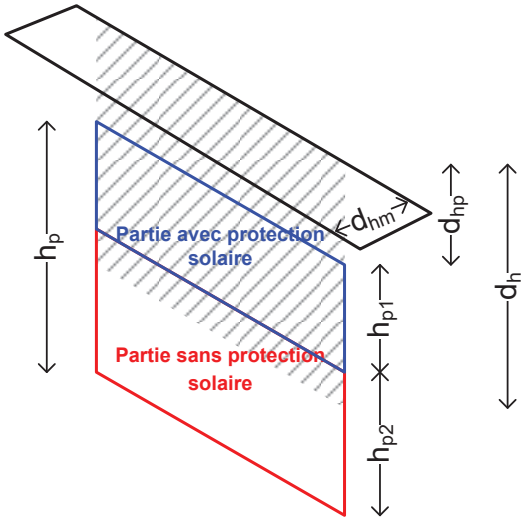


Figure 8 : Masque proche horizontal

Le facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct $F_{h\text{-}dir}$ est calculé comme suit :

- Si $\beta = \frac{\pi}{2}$ (paroi verticale)

$$\phi = \psi' - \alpha$$

- Si $\cos(\phi) \geq 10^{-5}$ (si entrée du soleil dans le plan concerné)

- si $d_{hm} > 0$

$$d_h = Max\left(0;\ d_{hm} \times \frac{tg\ (\gamma)}{\cos(\phi)}\right)$$

$$F_{h,dir} = Min\left[Max\left(0;\ 1 - \frac{d_h - d_{hg}}{h_p}\right);1\right] \quad (20)$$

- si $d_{hm} \leq 0$

$$F_{h,dir} = 1$$

- Si $\cos(\phi) < 10^{-5}$

$$F_{h,dir} = 1$$

- Si $\beta \neq \frac{\pi}{2}$ (paroi non verticale)

$$F_{h,dir} = 1$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel direct que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.12.2 Rayonnement solaire diffus et éclairement naturel diffus

Soit θ_g l'angle sous lequel le point central du composant voit le ciel.

Le facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire diffus, $F_{h\text{-}dif}$, est déterminé selon l'équation suivante :

- Si $\beta = \frac{\pi}{2}$ (paroi verticale)

  - si $d_{hm} > 0$

$$\theta_g = \frac{180}{\pi}.\arctan\left(\frac{d_{hp} + \frac{h_p}{2}}{d_{hm}}\right)$$

$$F_{h-dif} = \frac{\theta_g}{90} \quad (21)$$

  - si $d_{hm} \leq 0$

$$F_{h-dif} = 1$$

- Si $\beta \neq \frac{\pi}{2}$ (paroi non verticale)

$$F_{h-dif} = 1$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel diffus que pour le rayonnement solaire diffus.

3.2.3.13 *Masque lointain défini par un plan vertical*

3.2.3.13.1 *Rayonnement solaire direct et éclairement naturel direct*

Ces masques sont applicables à une paroi opaque, une baie, un pont thermique, une paroi d'espace tampon, un capteur photovoltaïque ou un capteur solaire thermique dont les dimensions sont considérées négligeables par rapport à celles du masque (voir Figure 9), et quelle que soit l'inclinaison du composant.

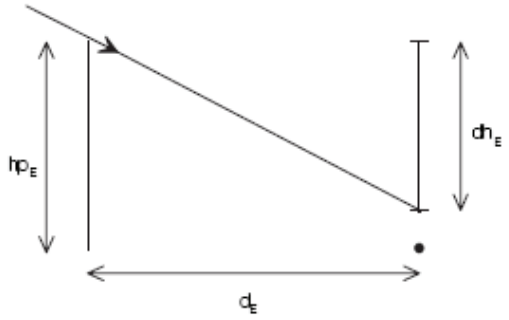


Figure 9 : Masque lointain défini par un plan vertical

Le facteur d'affaiblissement du rayonnement solaire direct dû au masque lointain vertical, $f_{E\text{-}LV,dir}$ est calculé de la manière suivante :

$\forall\ \beta$

$$\phi = \psi' - \alpha$$

- Si $\cos(\phi) \geq 10^{-5}$ (si entrée du soleil dans le plan concerné)

  - si $hp_E > 0$

$$dh_E = d_E . \frac{tg\ (\gamma)}{\cos(\phi)}$$

si $dh_E > hp_E \Rightarrow F_{E-LV} = 1$ (22)

si $dh_E < hp_E \Rightarrow F_{E-LV} = 0$

  - si $hp_E \leq 0$

$$F_{E-LV} = 1$$

- Si $\cos(\phi) < 10^{-5}$

$$F_{E-LV} = 1$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel direct que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.13.2 *Rayonnement solaire diffus et éclairement naturel diffus*

Pour toute inclinaison $F_{E\text{-}LV,dif} = 1$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel diffus que pour le rayonnement solaire diffus.

3.2.3.14 *Masques lointains définis par tranches azimutales*

Ces masques sont applicables à une paroi opaque, une baie, un pont thermique, une paroi d'espace tampon, un capteur photovoltaïque ou un capteur solaire thermique dont les dimensions sont considérées négligeables par rapport à celles du masque (voir Figure 9), et quelle que soit l'inclinaison du composant.

3.2.3.14.1 *Rayonnement solaire direct et éclairement naturel direct*

On définit 36 tranches azimutales d'une amplitude de 10°. Dans chaque tranche, on considère un angle γ_i (i = 1, 2, …, 36) correspondant à la hauteur de l'horizon vu du centre du composant intégrant les masques naturels et urbains existants et futurs.

Lorsque l'azimut du soleil par rapport à la normale à la paroi (Φ) se situe dans une tranche d'indice i donnée, si γ est supérieur à l'angle γi de cette tranche, le composant est éclairé ($F_{E\_Az,dir}$ =1), sinon il est à l'ombre ($F_{E\_Az,dir}$ =0) (voir Figure 10).

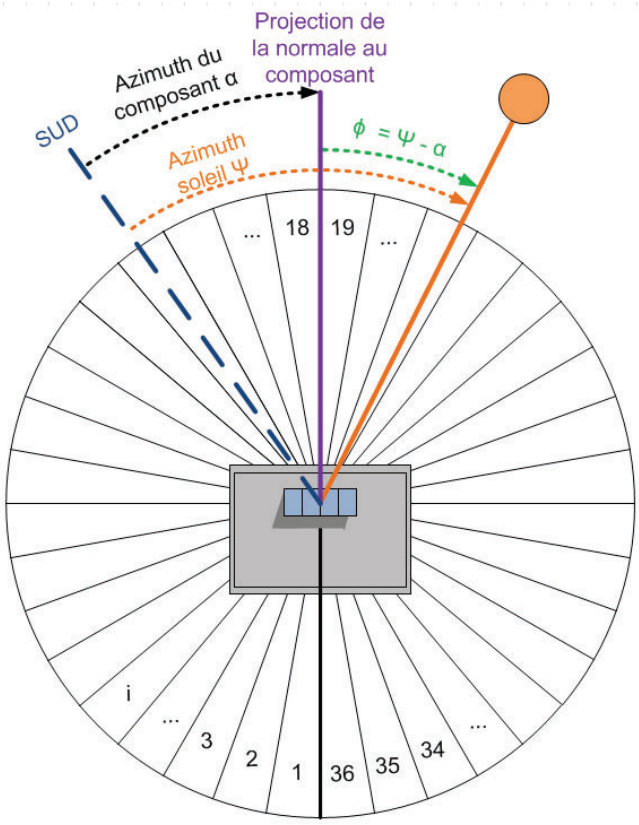


Figure 10 : masques lointains définis par 36 tranches azimutales sur une paroi non-verticale avec soleil présent dans la tranche d'indice i = 21

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel direct que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.14.2 *Rayonnement solaire diffus et éclairement naturel diffus*

$$F_{E\text{-}AZ,dif} = 1$$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel diffus que pour le rayonnement solaire diffus.

3.2.3.15 *Masques lointains constitués d'arbres à feuilles caduques*

3.2.3.15.1 *Rayonnement solaire direct et éclairement naturel direct pour les arbres à feuilles caduques*

Les arbres à feuilles caduques ne portent des feuilles, donc constituent un masque, qu'une partie de l'année définie par :

$$Tsimul\_deb\_veg < Tsimul < Tsimul\_fin\_veg$$

Ainsi :

Si $Tsimul\_deb\_veg < Tsimul < Tsimul\_fin\_veg$

$F_{E\_Az\_cad,dir}$ calculé comme en 3.2.3.14.1.

Sinon $F_{E\_Az\_cad,dir} = 1$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel direct que pour le rayonnement solaire.

3.2.3.15.2 *Rayonnement solaire diffus et éclairement naturel diffus pour les arbres à feuilles caduques*

Si $Tsimul\_deb\_veg < Tsimul < Tsimul\_fin\_veg$

$F_{E\_Az\_cad,dif}$ calculé comme en 3.2.3.14.2

Sinon $F_{E\_Az\_cad,dif} = 1$

Les facteurs d'affaiblissement sont les mêmes pour l'éclairement naturel diffus que pour le rayonnement solaire diffus.

3.2.3.16 *Facteurs d'affaiblissement globaux*

Un composant peut être protégé par plusieurs masques dont le nombre est déterminé dans le paramètre d'intégration *Nmasque*.

Un indentifiant, Id_masque[*Nmasque*] de dimension *Nmasque*, permet de connaître les masques en œuvre sur le composant.

Id_masque[] contient autant d'identifiant que de masques en œuvre, chaque masque étant identifié par :

Masque constitué d'arbres à feuilles caduques : E_Az_cad

Masque lointain par tranches azimutales : E_AZ

Masque lointain par un plan vertical : E_LV

Masque proche horizontal : h

Masque vertical gauche : vg

Masque vertical droit : vd

Le calcul convient pour les combinaisons de masques proches de type loggia.

- Facteurs d'affaiblissement globaux pour le rayonnement direct et l'éclairement direct

Le facteur d'affaiblissement global du rayonnement solaire direct ou de l'éclairement direct de la partie protégée du composant dû aux masques proches et aux masques lointains verticaux, FfDir, est calculé comme suit :

$$FfDir_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nmasque} F_{Id\_masque[n],dir} \quad (23)$$

- Facteurs d'affaiblissement globaux pour le rayonnement diffus et l'éclairement diffus

Le facteur d'affaiblissement global du rayonnement solaire diffus ou de l'éclairement diffus de la partie protégée du composant dû aux masques proches et aux masques lointains verticaux, FfDir, est calculé comme suit :

$$FfDif_{,ev} = \prod_{n=1}^{Nmasque} F_{Id\_masque[n],dif} \quad (24)$$

- Facteurs d'affaiblissement globaux pour le rayonnement réfléchi et l'éclairement réfléchi

Le facteur d'affaiblissement global du rayonnement solaire réfléchi ou de l'éclairement réfléchi de la partie protégée du composant dû aux masques proches et au masque lointain vertical, FfDir, est calculé comme suit :

$$FfRp_{,ev} = 1 \quad (25)$$

3.2.3.17 *Rayonnement atteignant une paroi*

$Drp^*_{,ev} = Drp.FfDir_{,ev}$

$Dfp^*_{,ev} = Dfp.FfDiff_{,ev}$

$Rrp^*_{,ev} = Rrp.FfRp_{,ev}$

Et le rayonnement total incident sur une paroi horizontale (β=0) s'exprime ainsi

$$Isr\_horiz^* = (Drp^*_{,ev} + Dfp^*_{,ev} + Rrp^*_{,ev})_{\beta=0} \quad (26)$$

3.2.3.18 *Eclairement atteignant une paroi*

$Erp^*_{,ev} = Erp.FfDir_{,ev}$

$Efp^*_{,ev} = Efp.FfDiff_{,ev}$

$Errp^*_{,ev} = Errp.FfRp_{,ev}$

$Etp^*_{,ev} = Erp^*_{,ev} + Efp^*_{,ev} + Errp^*_{,ev}$

4. SCENARIOS ET ENVIRONNEMENT INTERIEUR

4.1 C_EIN_Scénarios conventionnels

4.1.1 INTRODUCTION

Cette fiche présente le préprocesseur de fabrication des scenarios d'usage, de températures et d'apport internes (occupant, matériels …).

Le scenario d'occupation à proprement parlé se définit au niveau de la zone, indépendamment du bâtiment. **La zone est divisée en locaux**. Les *apports internes* sont définis au niveau des locaux.

4.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 3 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de C-Ein-Scenario-conventionnel.

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone.	-	-	-	-
$Type_{local}$	Type d'usage d'un local de la zone.	-	-	-	-
Rat^{l}_{loc}	Ratio de surface utile du local l / surface utile de la zone	-	0	1	-
N_{occ_nom}	Occupation surfacique maximale	-	0	+∞	-
$Q^{l}_{max\_occ}$	Apport maximal de chaleur interne du aux occupants, par occupant, du local l	W/occ	-∞	+∞	-
$\omega^{l}_{max\_occ}$	Apport maximal d'humidité interne du aux occupants, par occupant, du local l	Kg/h/occ	0	+∞	-
$Q^{l}_{max\_proc}$	Apport maximal de chaleur interne du local l	W/m²	-∞	+∞	-
$\omega^{l}_{\max\_proc}$	Apport maximal d'humidité interne du local l	Kg/h/m²	0	+∞	-
V_{ECS_nom}	Volume requis par unité	L/semaine	0	+∞	-
θ^{+}_{iich}	Température de consigne de chauffage en occupation normale (confort)	°C	-∞	+∞	-
θ^{+}_{iifr}	Température de consigne de refroidissement en occupation normale (confort)	°C	-∞	+∞	-
θ^{0}_{iich}	Température de consigne de chauffage si réduit de moins de 48h	°C	-∞	+∞	-
θ^{0}_{iifr}	Température de consigne de refroidissement si réduit de moins de 48h	°C	-∞	+∞	-
θ^{-}_{iich}	Température de consigne de chauffage si réduit de plus de 48h	°C	-∞	+∞	-
θ^{-}_{iifr}	Température de consigne de refroidissement si réduit de plus de 48h	°C	-∞	+∞	-
$p^{a}_{occ}(m,s)$	Indicateur d'occupation de la zone par mois/semaine	bool	0	1	-
$p^{s}_{occ}(j,h)$	Indicateur d'occupation de la zone par jour/heure	Bool	0	1	-
$p^{a}_{mob}(m,s)$	Indicateur de mobilité de la zone par mois/semaine	bool	0	1	-
$p^{s}_{mob}(j,h)$	Indicateur de mobilité de la zone par jour/heure	Bool	0	1	-

$p_{ch}^{a}(m,s)$	Indicateur de consigne de chauffage (vacances ou non) par mois/semaine	Bool	0	1	-
$p_{ch}^{s}(j,h)$	Indicateur de consigne de chauffage (confort, réduit de moins de 48h, réduit de plus de 48 heure)par jour/heure	Bool	-1	1	-
$p_{fr}^{a}(m,s)$	Indicateur de consigne de refroidissement (vacances ou non) par mois/semaine	Bool	0	1	-
$p_{fr}^{s}(j,h)$	Indicateur de consigne de refroidissement (confort, réduit de moins de 48h, réduit de plus de 48 heure)par jour/heure	Bool	-1	1	-
$p_{vent}^{a}(m,s)$	Indicateur d'utilisation de la ventilation en occupation ou inoccupation mois/semaine	Bool	0	1	-
$p_{vent}^{s}(j,h)$	Indicateur d'utilisation de la ventilation en occupation ou inoccupation par jour/heure	Bool	0	1	-
$p_{light}^{a}(m,s)$	Indicateur de fonctionnement de l'éclairage mois/semaine	Bool	0	1	-
$p_{light}^{s}(j,h)$	Indicateur de fonctionnement de l'éclairage par jour/heure	Bool	0	1	-
$p_{ECS}^{a}(m,s)$	Indicateur de fonctionnement de l'ECS par mois/semaine	Bool	0	1	-
$p_{ECS}^{s}(j,h)$	Indicateur de fonctionnement de l'ECS par jour/heure	Bool	0	1	-
$t_{occ}^{a}(m,s)$	Facteur correctif du taux d'occupation du local / par mois/semaine	Réel	0	1	-
$t_{occ}^{s}(j,h)$	Facteur correctif du taux d'Occupation du local / par jour/heure	Réel	0	1	-
$t_{ch}^{a}(m,s)$	Ratio d'apports internes de chaleurs du local par mois/semaine	Réel	0	1	-
$t_{ch}^{s}(j,h)$	Ratio d'apports internes de chaleurs du local par jour/heure	Réel	0	1	-
$t_{\omega}^{a}(m,s)$	Ratio d'apports internes d'humidité du local par mois/semaine	Réel	0	1	-
$t_{\omega}^{s}(j,h)$	Ratio d'apports internes d'humidité du local par jour/heure	Réel	0	1	-
α_{conv}	Part des apports internes sous forme convective (conventionnel).	Réel	0	1	0.5

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
A^{gr}	Surface utile du groupe g de la zone	m²	0	+∞	-
$Nb_{\lg t}$	Nombre de logement en logement collectif et pour les maisons accolées	Entier	0	+∞	-

Sorties

Nom	Description	Unité
N_{occ}	Nombre d'occupants d'un groupe	-
Uk	Tableau (vecteur de 365 x 24 composantes scalaires) décrivant la mobilité de la cabine d'ascenseur	-
$\phi_{\text{int},conv}^{g}$	Apports internes convectifs hors-occupants et éclairage d'un groupe g	W
$\phi_{\text{int},rad}^{g}$	Apports internes radiatifs hors-occupants et éclairage d'un groupe g	W
ω_{int}^{g}	Apport d'humidité hors-occupants au groupe g	Kg/h
$\phi_{\text{int}\_occ,conv}^{g}$	Apports internes convectifs dus aux occupants d'un groupe g	W

	$\phi^{g}_{\text{int\_occ,rad}}$	Apports internes radiatifs dus aux occupants d'un groupe g	W
	$\omega^{g}_{\text{int\_occ}}$	Apport d'humidité dus aux occupants au groupe g	Kg/h
	ah	Clé de répartition horaire pour le calcul des besoins d'ECS	-
	I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
	I_{ecl}	Indicateur d'éclairage de la zone (Occ / Inocc)	Bool
	θ_{iich}	Température de consigne initiale de chauffage commune à tous les groupes de la zone	°C
	θ_{iifr}	Température de consigne initiale de refroidissement commune à tous les groupes de la zone	°C
	I_{occ_zone}	Indicateur d'occupation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
	I_{vac}	Indicateur de vacances de la zone (=0 en période de vacances)	Bool
	i_{ecs} *(j)*	Indicateur qui précise si le jour *j* est inclus dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier
	I_{occ_gpm}	Indicateur d'occupation pour la gestion des protections mobile . *-1 : inoccupation de nuit ou de vacances.* *0 : inoccupation de jo r.* *1 : occupation.*	entier
	$i_{herbegement}$	Indicateur d'usage habitation ou hébergement. *0 : usage non-habitation et non-hébergement.* *1 : usage habitation ou hébergement.*	entier
Usage	$i_{enseignement}$	Indicateur d'usage associé à l'enseignement : *0 : usage non affilié à* l'enseignement : *1 : usage d'enseignement ou affilié.*	entier
	$p_{ch\_s}(h)$	Indicateur de consigne de chauffage (confort, réduit de moins de 48h, réduit de plus de 48 heures) par jour/heure	entier
Relance	$P_{fr\_s}(h)$	Indicateur de consigne de refroidissement (confort, réduit de moins de 48h, réduit de plus de 48 heures) par jour/heure	entier

Variables internes

Nom	Description	Unité
h	Heure de la journée	-
j	Jour de la semaine	-
s	Semaine de du mois	-
m	Mois de l'année	-
A_z	Surface utile de la zone	m²
Rat^{g}_{gr}	Ratio de surface utile d'un groupe g sur la surface de la zone	m²
N^{l}_{occ}	Nombre d'occupants du local *l*	-
$\phi^{l}_{\text{int,conv}}$	Apports internes convectifs au local *l*	W

$\phi^{l}_{\text{int},rad}$	Apports internes radiatifs au local *l*	W
ω^{l}_{int}	Apport d'humidité interne du local *l*	Kg/h
N_{max}	Nombre maximal d'occupation du local *l*	-
N_{adeq}	Nombre d'adultes équivalents	-
A_{hab}	Surface habitable de la zone	m²
A_{lgt}	Surface moyenne d'un logement	m²
Rat_{hab}	Ratio de surface habitable	-
$p^{a}_{occ\_gpm}(m,s)$	Indicateur d'occupation de la zone par mois/semaine pour la gestion des protections mobiles	Entier
$p^{s}_{occ\_gpm}(j,h)$	Indicateur d'occupation de la zone par jour/heure pour la gestion des protections mobiles	Entier

Tableau 3 : Nomenclature du modèle

4.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

4.1.3.1 ***Calendrier***

Au niveau des scenarios d'occupation, la date est donnée par

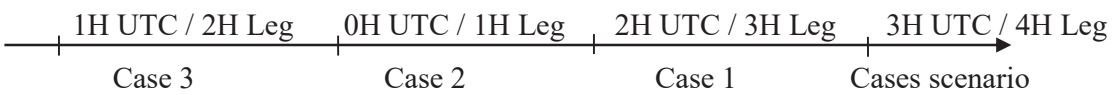
1. Le mois de l'année m de 1 à 12
2. La semaine du mois s de 1 à 4 ou 5 suivant le mois
3. Le jour de la semaine j entre 1 et 7
4. l'heure du jour h entre 1 et 24

qui se déduisent de l'heure $h_{année}$de la simulation par incrémentations successives. Il faut connaitre le nombre de semaine pour chaque mois défini conventionnellement :

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nombre de semaines	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4	5	4

On suppose que l'année commence un Lundi. Chaque caractéristique d'occupation sera fonction de ces 4 paramètres. Les fichiers descriptifs sont décrits en heure légale. La correspondante entre les itérations, l'heure UTC, l'heure légale, et le numéro de la case est comme suit :

	Itération (à partir de 0)	UTC début	UTC fin	Hleg début	Hleg fin	Numéro case scénario (à partir de 1)
	0	0H	1H	1H	2H	2
	1	1H	2H	2H	3H	3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Passage à l'heure d'été	1895	23H	0H	0H	1H	1
	1896	0H	1H	2H	3H	3
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Passage à l'heure d'hiver	7031	23H	0H	1H	2H	2
	7032	0H	1H	1H	2H	2
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	8759	23H	0H	1H	2H	2



4.1.3.2 *Liste d'usages prévus pour une zone*

L'usage est défini au niveau de la zone. Chaque zone est associée à un usage unique parmi les possibilités suivantes :

N° d'usage	Type d'usage associé	*Valeur de* $i_{hebergement}$	*Valeur de* $i_{enseignement}$
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	*1*	*0*
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	*1*	*0*
4	Enseignement primaire	*0*	*1*
5	Enseignement secondaire (partie jour)	*0*	*1*
16	Bureaux	*0*	*0*

Tableau 4 : liste des usages de la zone

4.1.3.3 *Surface utile de la zone*

On définit la variable intermédiaire suivante pour chaque groupe :

$$Rat_{gr}^{g} = \frac{A_{gr}^{g}}{A_z}, \tag{27}$$

Sachant que la surface utile de la zone est :

$$A_z = \sum_{g \in zone} A_{gr}^{g}. \tag{28}$$

On définit la surface utile de chaque local :

$$A_l = A_z Rat_{loc}^{l}. \tag{29}$$

4.1.3.4 *Scenarios d'occupation : la zone*

Au niveau de la zone, on définit

1. **L'occupation** : la zone peut être occupée ou pas
2. **La mobilité :** fournit l'indice de mobilité nécessaire aux calculs liés aux ascenseurs, aux escalators et également utilisée pour l'éclairage des locaux communs
3. **Le chauffage** : les températures de consigne en chauffage à choisir parmi 3 possibles : normales, en arrêt de moins de 48h, en arrêt de plus de 48h.
4. **Le refroidissement** : les températures de consigne en refroidissement à choisir parmi 3 possibles : normales, en arrêt de moins de 48h, en arrêt de plus de 48h
5. **La ventilation** : Arrêt ou marche des systèmes spécifiques de ventilation
6. **L'éclairage** : Arrêt ou marche de l'éclairage

Chacune de ces 5 grandeurs que l'on dénomme génériquement ici $p_{occ}(m,s,j,h)$ est définie **comme un produit** d'une valeur $p_{occ}^{s}(j,h)$ qui décrit le comportement hebdomadaire et d'une valeur $p_{occ}^{a}(m,s)$ qui décrit le comportement annuel. Ce *produit* peut être de deux type : $\times$ et $\otimes$ qui sont décrits par leurs tables de vérité Tableau 5 et Tableau 6.

$\otimes$		$p^{s}_{ch,fr}(j,h)$		
		-1	0	1
$p^{a}_{ch,fr}(m,s)$	-1	-1	-1	-1
	0	-1	0	0
	1	-1	0	1

Tableau 5 : Algèbre de Bool modifiée pour les autorisations de chauffage/refroidissement symbolisée par $\otimes$

$\times$		$p^{s}_{ch,fr}(j,h)$	
		0	1
$p^{a}_{ch,fr}(m,s)$	0	0	0
	1	0	1

Tableau 6 : Algèbre de bool ET symbolisée par $\times$

4.1.3.5 *Apports internes : le local*

Les renseignements au niveau de la zone sont qualitatifs uniquement. Ils ne définissent pas *combien* de personnes occupent une zone, mais uniquement si elle est occupée. Ce type d'information est rentré au niveau du *local*. Un local est caractérisé par un ratio de surface utile, une valeur maximale du nombre d'occupants par unité de surface, une valeur maximale d'apport de chaleur par unité de surface lié aux usages et une valeur maximale d'apport d'humidité par unité de surface lié aux usages.

La stratégie est similaire à la zone. On définit de manière générique un réel, pouvant varier de 0 à 1, $t_{\text{int}}(m,s,j,h)$ qui dénote les pondérations pour chacune des trois grandeurs de manière générique. Il est le *produit standard* d'un $t_{\text{int}}(j,h)$ pouvant varier de 0 **à** 1 et d'un $t_{\text{int}}(m,s)$ valant 0 **ou** 1 qui décrit un comportement moins fin.

4.1.3.6 *Calcul des sorties*

Le cœur de calcul a besoin des sorties suivantes :

1. Indicateurs relatifs au type d'usage
2. Vecteur de mobilité
3. Températures de consignes de chauffage
4. Température de consigne de refroidissement
5. Nombre d'occupants
6. Apports internes de chaleur hors occupants et éclairage
7. Apports d'humidité hors occupants et éclairage
8. Indice d'occupation de la zone
9. Indicateur de ventilation en occupation ou inoccupation
10. La mise en marche du système d'éclairage.

4.1.3.6.1 Températures de consignes

On dispose d'un jeu de 3 températures de consignes en chauffage et de trois températures de consigne en refroidissement définies au niveau de la zone. Un jeu pour l'occupation standard, un jeu pour l'inoccupation de moins de 48h, et un jeu pour une inoccupation de plus de 48h. L'algèbre de calcul de $p_{ch,fr}(m,s,j,h)$ est la suivante :

$$\begin{cases} \theta_{iich} = \theta^{-}_{iich} \; si \; p_{ch}(m,s,j,h) = p^{a}_{ch}(m,s) \otimes p^{s}_{ch}(j,h) = -1 \\ \theta_{iifr} = \theta^{-}_{iifr} \; si \; p_{fr}(m,s,j,h) = p^{a}_{fr}(m,s) \otimes p^{s}_{fr}(j,h) = -1 \\ \theta_{iich} = \theta^{0}_{iich} \; si \; p_{ch}(m,s,j,h) = p^{a}_{ch}(m,s) \otimes p^{s}_{ch}(j,h) = 0 \\ \theta_{iifr} = \theta^{0}_{iifr} \; si \; p_{fr}(m,s,j,h) = p^{a}_{fr}(m,s) \otimes p^{s}_{fr}(j,h) = 0 \\ \theta_{iich} = \theta^{+}_{iich} \; si \; p_{ch}(m,s,j,h) = p^{a}_{ch}(m,s) \otimes p^{s}_{ch}(j,h) = 1 \\ \theta_{iifr} = \theta^{+}_{iifr} \; si \; p_{fr}(m,s,j,h) = p^{a}_{fr}(m,s) \otimes p^{s}_{fr}(j,h) = 1 \end{cases} \quad (30)$$

4.1.3.6.2 Calcul du vecteur de mobilité Uk

A partir des éléments fournis dans les tableaux descriptifs de la mobilité pour l'usage de la zone, on obtient le vecteur de mobilité par la formule suivante :

$$Uk(m,s,j,h) = \left(p^{a}_{mob}(m,s) \times p^{s}_{mob}(j,h)\right), \quad (31)$$

4.1.3.6.3 Calcul de N_{occ}

4.1.3.6.3.1 Calcul en maison individuelle (ou accolée) et logement collectif

Pour ces deux usages particuliers, on effectue alors le calcul suivant du nombre d'adultes équivalents N_{adeq} comme suit :

- **En usage « Bâtiment à usage d'habitation – maison individuelle et accolée » :**

$$A_{lgt} = \frac{A_z}{Nb_{lgt}}$$

$$N_{max} = \begin{cases} 1 & si \; A_{lgt} < 30m^2 \\ 1.75 - 0.01875 \; x \left(70 - A_{lgt}\right) & si \; 30m^2 \leq A_{lgt} \leq 70m^2 \\ 0.025 \; A_{lgt} & si \; A_{lgt} \geq 70m^2 \end{cases} \quad (32)$$

Et

$$N_{adeq} = Nb_{lgt} * \begin{cases} N_{max} & si \; N_{max} < 1.75 \\ 1.75 + 0.3 \times (N_{max} - 1.75) & si \; N_{max} \geq 1.75 \end{cases}$$

- **En usage « Bâtiment à usage d'habitation – logement collectif » :**

Dans ces usages, il ne peut y avoir que deux locaux, un d'habitation, et un autre de circulation. On calcul la surface habitable qui est la surface du local d'habitation :

$$A_{\text{hab}} = Rat_{\text{hab}} A_z, \quad (33)$$

où Rat_{hab} correspond au Rat_1 du local d'habitation. On calcul ensuite la surface moyenne par logement :

$$A_{lgt} = \frac{A_{hab}}{Nb_{lgt}} \quad (34)$$

Cette surface est utilisée pour calculer $N_{\max}$ comme suit :

$$N_{max} = \begin{cases} 1 & si\ A_{lgt} < 10m^2 \\ 1.75 - 0.01875\ x\ (50 - A_{lgt})\ si\ 10m^2 \leq A_{lgt} \leq 50m^2 \\ 0.035\ A_{lgt} & si\ A_{lgt} \geq 50m^2 \end{cases} \quad (35)$$

Le nombre maximal d'adultes équivalent est défini par

$$N_{adeq} = Nb_{lgt} * \begin{cases} N_{max} & si\ N_{max} < 1.75 \\ 1.75 + 0.3\ \times (N_{max} - 1.75\ ) & si\ N_{max} \geq 1.75 \end{cases} \quad (36)$$

Le nombre d'adultes équivalents est défini au niveau du *local*. On commence par calculer la possibilité d'occupation au niveau de la zone en suivant l'algèbre $\times$.

Le nombre d'occupants du local d'habitation hab est donné par :

$$N_{occ}^{hab}(m,s,j,h) = N_{adeq}.\left(p_{occ}^{a}(m,s) \times p_{occ}^{s}(j,h)\right).\left(t_{occ}^{a}(m,s).t_{occ}^{s}(j,h)\right), \quad (37)$$

et est nul pour l'autre local.

4.1.3.6.3.2 Calcul dans les autres usages

$$N_{occ}^{l}(m,s,j,h) = A_l N_{occ\_nom}^{l}.\left(p_{occ}^{a}(m,s) \times p_{occ}^{s}(j,h)\right).\left(t_{occ}^{a}(m,s).t_{occ}^{s}(j,h)\right) \quad (38)$$

4.1.3.6.4 Calcul des apports internes dus aux occupants

Les apports internes de chaleur sont :

$$\begin{aligned} \varphi_{int\_occ,conv}^{g}(m,s,j,h) &= Rat_{gr}^{g}\alpha_{conv}\textstyle\sum_l N_{occ}^{l}(m,s,j,h) \times Q_{max\_occ}^{l} \\ \varphi_{int\_occ,rad}^{g}(m,s,j,h) &= Rat_{gr}^{g}(1-\alpha_{conv})\sum_l N_{occ}^{l}(m,s,j,h) \times Q_{max\_occ}^{l} \end{aligned} \quad (39)$$

Les apports internes d'humidé sont :

$$\omega_{int\_occ}^{g}(m,s,j,h) = Rat_{gr}^{g}\textstyle\sum_l N_{occ}^{l}(m,s,j,h) \times \omega_{max\_occ}^{l} \quad (40)$$

4.1.3.6.5 Apports internes de chaleur dus aux usages

Le calcul des apports internes de chaleurs se fait uniquement au niveau du local :

$$\begin{aligned} \varphi_{int,conv}^{l}(m,s,j,h) &= A_l\alpha_{conv}Q_{max\_proc}^{l}.\left(t_{ch}^{a}(m,s).t_{ch}^{s}(j,h)\right) \\ \varphi_{int,rad}^{l}(m,s,j,h) &= A_l(1-\alpha_{conv})Q_{max\_proc}^{l}\left(t_{ch}^{a}(m,s).t_{ch}^{s}(j,h)\right) \end{aligned} \quad (41)$$

On calcule aussi les apports internes de chaleur au groupe g en sommant sur l'ensemble des locaux des groupes :

$$\begin{aligned} \varphi_{int,conv}^{g}(m,s,j,h) &= Rat_{gr}^{g}\textstyle\sum_l \varphi_{int,conv}^{l}(m,s,j,h) \\ \varphi_{int,rad}^{g}(m,s,j,h) &= Rat_{gr}^{g}\sum_l \varphi_{int,rad}^{l}(m,s,j,h) \end{aligned} \quad (42)$$

4.1.3.6.6 Apports internes d'humidité dus aux usages

Le calcul des apports internes d'humidité se fait uniquement au niveau du local :

$$\omega_{int}^{l}(m,s,j,h) = A_l \omega_{\max_{proc}}^{l} \quad (t_{\omega}^{a}(m,s).t_{\omega}^{s}(j,\square)) \tag{43}$$

Et

$$\omega_{int}^{g}(m,s,j,h) = Rat_{gr}^{g} \sum_l \omega_{int}^{l}(m,s,j,h) \tag{44}$$

4.1.3.6.7 Ventilation

L'indicateur de ventilation en occupation ou inoccupation se décide au niveau de la zone :

$$I_{vent}(m,s,j,h) = \left(p_{vent}^{a}(m,s) \times p_{vent}^{s}(j,h)\right) \tag{45}$$

4.1.3.6.8 Clé de répartition horaire pour les besoins d'ECS

La clé de répartition *ah*, pour attribuer à chaque pas de temps un pourcentage des besoins d'ECS hebdomadaires, se décide au niveau de la zone :

$$ah(m,s,j,h) = \left(p_{ECS}^{a}(m,s) \times p_{ECS}^{s}(j,h)\right) \tag{46}$$

4.1.3.6.9 Indicateur de fonctionnement de l'ECS

Pendant les vacances des zones dont l'usage est affilié à l'enseignement, l'éventuel réseau primaire d'ECS est arrêté.

Si $i_{enseignement}$ = 1 et i_{vac}=0, alors
$i_{ecs}(j)$=0
Sinon
$i_{ecs}(j)$=1 (47)

4.1.3.6.10 Indicateur de vacances

$$I_{vac}(m,s,j,h) = \left(p_{occ}^{a}(m,s)\right) \tag{48}$$

4.1.3.6.11 Indicateur d'occupation de la zone

$$I_{occ\_zone}(m,s,j,h) = \left(p_{occ}^{a}(m,s) \times p_{occ}^{s}(j,h)\right) \tag{49}$$

4.1.3.6.12 Indicateur d'occupation pour la gestion des protections mobiles

$$p_{occ\_gpm}^{a}(m,s) = \begin{cases} 1 & si \ \ p_{occ}^{a}(m,s) = 1 \\ -1 & si \ \ p_{occ}^{a}(m,s) = 0 \end{cases} \tag{50}$$

$$p^{s}_{occ\_gpm}(j,h) = \begin{cases} 1 \;\; si \;\; p^{s}_{occ}(j,h) = 1 \\ -1 \;\; si \; p^{s}_{occ}(j,h) = 0 \end{cases} \quad (51)$$

Pour tout j

Pour h_{deb} de 7 à 22

Si $p^{s}_{occ}(j,h_{deb}) = 0$ et $p^{s}_{occ}(j,h_{deb}-1) = 1$

Pour h_{fin} de h_{deb} à 22

Si $p^{s}_{occ}(j,h_{fin}) = 0$ et $p^{s}_{occ}(j,h_{fin}+1) = 1$ (52)

Pour h de h_{deb} à h_{fin}

$p^{s}_{occ\_gpm}(j,h) = p^{s}_{occ}(j,h)$

$$Iocc_{gpm}(m,s,j,h) = \left(p^{a}_{occ\_gpm}(m,s) \otimes p^{s}_{occ\_gpm}(j,h)\right) \quad (53)$$

Dans l'équation (53), on utilise l'algèbre de Bool du Tableau 5.

4.1.3.6.13 Eclairage

La mise en marche de l'éclairage se décide au niveau de la zone

$$I_{ecl}(m,s,j,h) = \left(p^{a}_{light}(m,s) \times p^{s}_{light}(j,h)\right) \quad (54)$$

4.1.3.6.14 Renvois des indicateurs nécessaires pour la relance

L'information d'arrêt de plus ou moins 48h permet de déterminer les scénarios de relance en distinguant les cas de relance quotidienne en semaine et de relance après une période d'absence prolongée.

$$p_{ch\_s}(h) = p^{s}_{ch}(j,h)$$
$$P_{fr\_s}(h) = p^{s}_{fr}(j,h) \quad (55)$$

4.2 FA_Maison_individuelle_Logement_Collectif

4.2.1 PREAMBULE

Cette partie apporte des précisions sur la prise en compte des bâtiments à usage d'habitation. Il s'agit

- de préciser les termes qui définissent un bâtiment à usage « maison individuelle ou accolée» ou à usage de « logement collectif d'habitation »
- et de préciser les modalités d'application.

4.2.2 DEFINITIONS COMPLEMENTAIRES

- **Parois mitoyennes**

On considère que des parois sont mitoyennes entre deux bâtiments si leurs deux faces sont en contact avec des **locaux chauffés.** Ces parois peuvent être aussi bien verticales qu'horizontales.

En présence d'un joint de dilatation permettant une circulation d'air traversante entre les deux bâtiments, ceux-ci ne peuvent pas être considérés comme mitoyens. Dans le cas où il n'y a pas de circulation d'air entre les deux bâtiments, cas du joint de dilatation complètement fermé de l'extérieur, on considère les bâtiments mitoyens.

- **Logements superposés**

Des logements sont superposés **entre eux** si la surface de leurs parois mitoyennes horizontales est supérieure à 15 m². *(Cette règle est construite par analogie avec la règle sur l'accolement de bâtiments*)

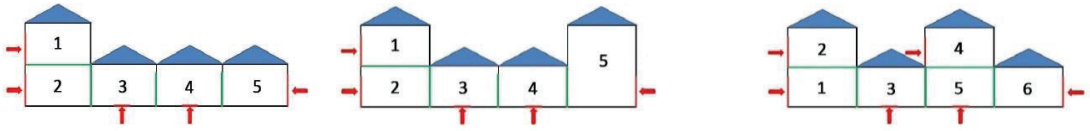
- **Bâtiment collectif d'habitation**

Pour constituer un bâtiment collectif d'habitation, le bâtiment dans son ensemble comporte plus de deux logements **superposés** (voir schéma ci-dessous)

- **Bâtiment de maisons accolées**

Pour constituer un « bâtiment de maisons accolées » le bâtiment dans son ensemble comporte au **moins deux logements accolés ET au maximum un logement superposé à d'autres logements.**

Exemples :



Bâtiment de maisons accolées **Logements collectifs**

Constitue également un bâtiment de maisons accolées un bâtiment constitué de deux logements accolés sans entrée commune (cas des maisons jumelles).

- **Porte d'entrée de bâtiment de « maison individuelle »**

Pour constituer un bâtiment de « maison individuelle » composé de deux logements non superposés, la porte d'entrée commune à ces deux logements donne sur un espace commun clos et couvert : hall, sas, couloir, cage d'escalier fermée,… Les portes d'accès à des espaces (privatifs ou non) à l'air libre ne sont pas considérés comme disposant d'une porte d'entrée de bâtiment au sens de la RT2012.

4.2.3 MODALITES D'APPLICATION

- **Unicité de la catégorie d'usage**

La **caractérisation de l'usage** d'une zone au sein d'un bâtiment (maison individuelle ou accolée, habitat collectif) **est unique** et conduit à appliquer l'ensemble des exigences qui s'y rattachent (Cmax, Bbiomax, Ticref, perméabilité à l'air, …)

ATTENTION : *les exigences sur les bâtiments collectifs et les maisons individuelles sont différentes (coefficient Mbsurf, Mcsurf, perméabilité, production d'énergie par une EnR, …)*

- **Cas où le calcul peut être réalisé par partie de bâtiment**

Le calcul du Cep et du Bbio est effectué au niveau du bâtiment. Lorsqu'un bâtiment comporte des usages différents, les Cep_{max} et $Bbio_{max}$ sont définis au niveau de chaque zone et pondérés en fonction de la $SHON_{RT}$(SRT) des différentes zones qui composent le bâtiment pour constituer les Cep_{max} et du $Bbio_{max}$ du bâtiment

Toutefois, et bien que pénalisant, il est possible d'effectuer un calcul pour chaque partie de bâtiment en particulier dans les cas suivants :

- accolement de deux bâtiments ;
- bâtiment de maisons accolées ;
- labellisation différente.

Remarque importante : la décomposition d'un calcul d'un même bâtiment en plusieurs parties ne doit pas conduire à modifier l'usage des différentes parties du bâtiment. Ainsi un bâtiment à usage collectif d'habitation ne peut pas contenir des parties à usage de maison individuelle groupée voir de maison individuelle.

4.2.4 COMMENT DETERMINER LE TYPE DE BATIMENT D'HABITATION ?

La démarche s'effectue en 2 étapes :

1ere étape : identifier les bâtiments

Pour former un bâtiment d'habitation il faut regrouper tous les logements qui sont soit accolés soit superposés ou les deux à la fois.

2eme étape : identifier le type d'habitation.

Un bâtiment à usage d'habitation peut être un bâtiment collectif, une maison individuelle ou un bâtiment de maisons groupées. Pour chaque bâtiment la démarche est la suivante :

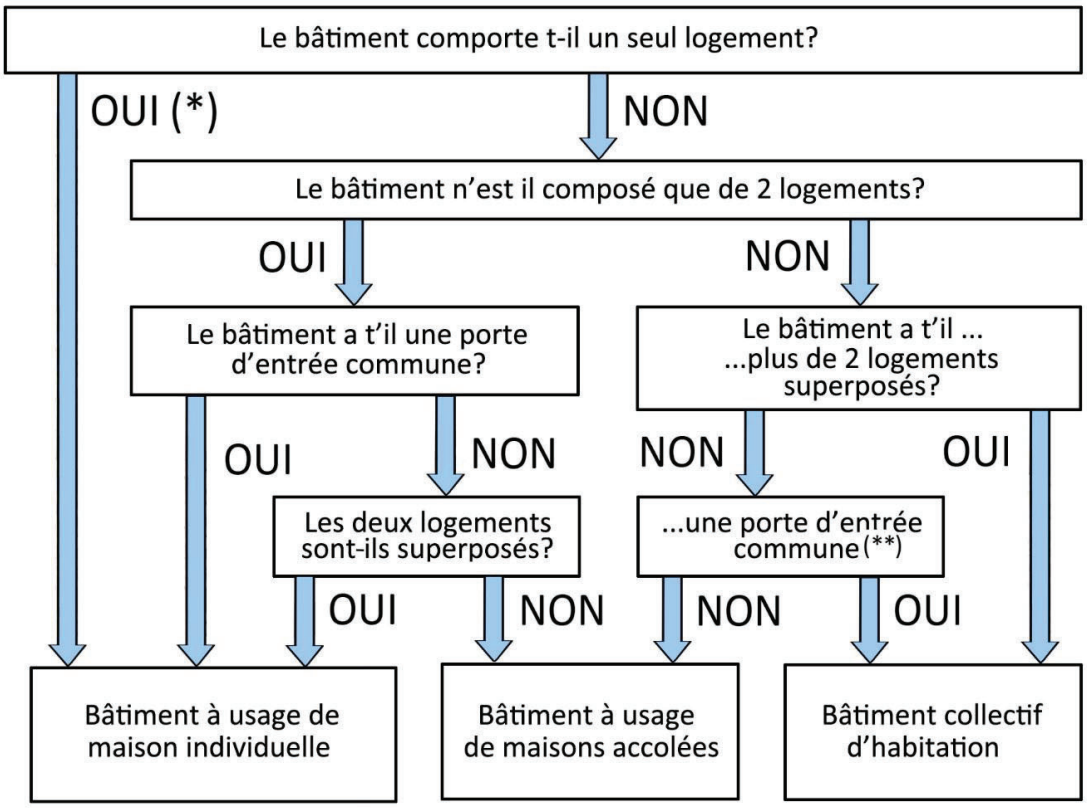


Figure 11 – schéma d'identification de l'usage du bâtiment

(*) Remarque : un logement de fonction dans un bâtiment à usage autre que d'habitation constitue soit une zone à usage collectif d'habitation, soit prend l'usage du bâtiment à usage autre que d'habitation auquel il appartient, dans les conditions prévues à l'article 2 du présent arrêté.

(**) Porte d'entrée commune à l'ensemble des logements.

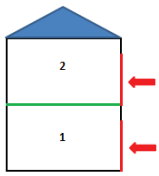
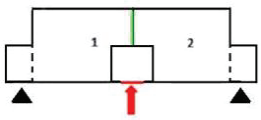
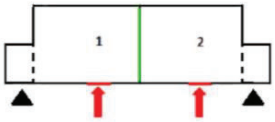
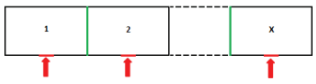
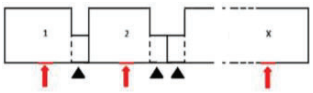
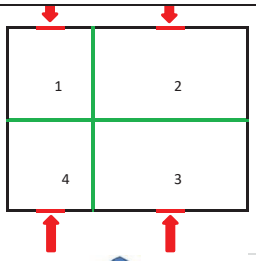
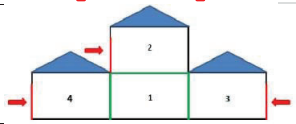
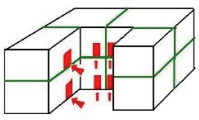
4.2.5 EXEMPLES

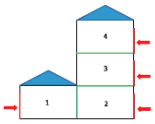
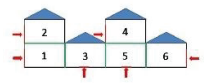
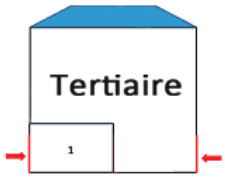
Légende

Porte d'entrée

Mitoyenneté (>15m²)

Garage

cas	Schéma	Configuration architecturale	Paroi verticales mitoyenne (>15 m²)	Logements superposés (>15m²)	Porte entrée commune	Nombre et usage du bâtiment
1		Bâtiment de 2 logements superposés	NON	OUI 2 logements	NON	1 bâtiment de maison individuelle
2		2 logements avec entrée commune	OUI	NON	OUI	1 bâtiment de maison individuelle
3		2 logements accolés sans entrée commune	OUI	NON	NON	1 bâtiment de maisons accolées
4		N logements individuels en bande en contact par leurs locaux chauffés	OUI	NON	NON	1 seul bâtiment de maisons accolées
5		N logements individuels en bande séparés par des garages	NON	NON	NON	N bâtiments de maison individuelle
6		Bâtiment de 4 logements accolés avec entrée par logement	OUI (si au moins 3 des parois mitoyennes de plus de 15 m²)	NON	NON	1 bâtiment de maisons accolées
7		Bâtiment de 4 logements dont 2 superposés	OUI	OUI 2 logements	NON	1 bâtiment de maisons accolées
8		Logements superposés 2 à 2 et accolées avec accès par coursive	OUI	OUI	NON	1 bâtiment collectif d'habitation

cas	Schéma	Configuration architecturale	Paroi verticales mitoyenne (>15 m²)	Logements superposés (>15m²)	Porte entrée commune	Nombre et usage du bâtiment
9		Bâtiment de 3 logements superposés	-	OUI	NON	1 bâtiment collectif d'habitation
10		Bâtiment de 4 logements dont 3 superposés	OUI	OUI	NON	1 bâtiment collectif d'habitation
11		Bâtiment de 6 logements dont 4 superposés	OUI	OUI	NON	1 bâtiment collectif d'habitation
12		Bâtiment de tertiaire avec 1 logement de fonction	OUI	NON	NON	Le logement est soit traité en tant que LC d'habitation, ou rattaché à l'usage tertiaire

4.3 FA_Comment identifier l'usage d'un bâtiment et l'exigence associée

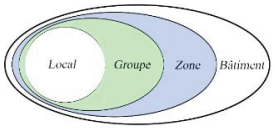
4.3.1 PREAMBULE

La fiche algorithme sur les scénarios conventionnels liste les usages pris en compte dans la RE2020. Cette partie précise la méthode de détermination de l'usage d'un bâtiment.

4.3.2 QUELLES SONT LES CONVENTIONS D'USAGE ?

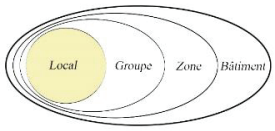
Le choix d'un usage adéquat est primordial pour appliquer la réglementation environnementale 2020 puisque celui-ci permet de définir plusieurs données de scénarios conventionnelles.

- Au niveau d'une zone ou d'un groupe, l'usage détermine :



  - Plage d'occupation
  - Horaire de chauffage et refroidissement
  - Horaire d'éclairage
  - Horaire de ventilation
  - Température de consigne en chaud
  - Température de consigne en froid
  - (indirectement) accès aux modes de gestion des protections mobiles
  - Besoin unitaire hebdomadaire en ECS à 40°C l/U

- Le type de local au sein d'un groupe permet d'affiner des données d'occupation :



  - Ratio de surface utile du local sur la surface utile du groupe (%) (Ratel)
  - Nombre d'occupants nominal par m² utile
  - Apports internes en occupation (hors éclairage) W/m²
  - Apports internes hors occupation (équipements hors éclairage) W/m²

4.3.3 COMMENT IDENTIFIER L'USAGE D'UN BATIMENT ET L'EXIGENCE ASSOCIEE?

L'application de la RE2020 s'effectue bâtiment par bâtiment. Les niveaux de performance requis ($Bbio_{max}$, $Cep_{max, ...}$) sont déterminés en fonction de l'usage des zones du bâtiment. Il convient alors d'identifier les différents usages présents dans un bâtiment en procédant comme suit :

1) **Identifier les bâtiments** en considérant les bâtiments accolés comme bâtiment unique (*deux bâtiments sont dits accolés s'ils sont juxtaposés et liés par des parois mitoyennes, dont la surface de contact est d'au moins 15m² pour les maisons et 50m² pour les autres bâtiments)*

2) **Identifier les bâtiments ou parties de bâtiment exclus de la RE2020** :

3) **Identifier**, de manière globale le ou les usage(s) issue(s) de la liste de la méthode Th-BCE qui caractérise au mieux la destination du bâtiment.

4) **Identifier les types de locaux** (à partir de la liste ci-dessous) présents dans le bâtiment. Lorsqu'un local associé ne figure pas dans la liste, on utilise un local ayant le niveau d'apports internes le plus proche.

5) **Constituer,** pour chaque bâtiment, la(les) **zone(s)** composée(s) de tout les groupes ayant le même usage et, pour certains usages, les groupes ayant le même fonctionnement (partie jour ou partie nuit, catégorie d'hôtel,…). Les zones peuvent être constituées de locaux non contigus.

4.4 FA_Extension_de_bâtiment

Les types de travaux listés ci-après sont considérés comme de la construction de parties de bâtiment :

- Une partie de bâtiment construite créant de nouveaux locaux, accolée à un bâtiment existant, et communiquant directement avec celui-ci,

- Un étage ajouté à un bâtiment existant,

- Un aménagement de combles existants d'une maison conduisant à devoir surélever le faîtage de la toiture d'au moins 1,8 mètre.

À l'inverse, les types de travaux listés ci-après ne sont pas considérés comme de la construction de parties de bâtiment :

- L'aménagement de combles existants d'une maison sans modification de l'enveloppe du bâtiment,

- La création d'un plancher intermédiaire dans une enveloppe de bâtiment existant non modifiée,

- L'aménagement d'un local existant sans création ni reconstruction de paroi, notamment dans le cas d'un changement de destination au sens du code de l'urbanisme (ex : grange accolée à une maison et transformée en pièce habitable, aménagement d'un garage en pièce habitable).

4.5 C_Ein_Indicateurs de confort

4.5.1 INTRODUCTION

Le présent composant a pour objectif de déterminer à chaque pas si la température opérative intérieure du groupe se trouve dans l'intervalle correspondant au confort des occupants.

La limite basse de cet intervalle correspondant à la température de consigne de chauffage telle que définie dans les scénarios de la zone d'appartenance du groupe.

La limite haute de cet intervalle peut prendre des valeurs différentes selon qu'on considère la situation d'un groupe refroidi par un système de climatisation ou rafraîchi par surventilation naturelle. Dans ce deuxième cas de surventilation naturelle, 3 catégories d'ambiance intérieure échelonnées sont distinguées : la limite haute en température, notée $\theta_{op\_inc\_max}$, est alors dépendante de la moyenne glissante de la température extérieure θ_{rm} pour le jour j.

Ci-dessous une représentation des différentes zones de températures opératives en fonction de θ_{rm} pour des températures de consigne classiques de 19°C et 26°C.

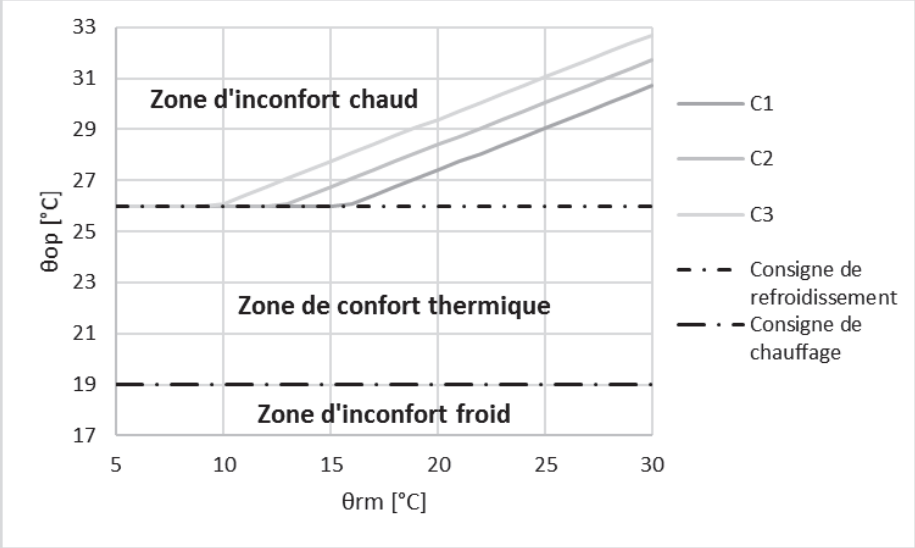


Figure 12: Confort et inconfort thermique de l'occupant

Les sorties de la présente fiches sont de deux natures : indicateurs d'inconfort d'une part, et écarts aux limites de température d'inconfort d'autre part.

4.5.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 7** donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation, et j le jour de simulation correspondant.

Entrées du composant

	Nom	Description	Uni
Zone	IHJ	Heure du jour.	h
	$\{\theta_{ei}(h)\}_{j-1}$	Valeurs des températures extérieures sur l'ensemble du jour précédent.	°C
	$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur traduisant l'occupation au temps h : *1: en occupation* *0 : en inoccupation*	Ent
	$\theta_{iich}(h)$	Température de consigne de chauffage du groupe au pas de temps h.	°C
	$\theta_{iifr}(h)$	Température de consigne de refroidissement du groupe au pas de temps h.	°C
	$\theta_{op,moy(0;0)}(h)$	Température intérieure opérative moyenne ressentie, du groupe considéré, à puissances des systèmes nulles, au pas de temps h.	°C

Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Uni	Min	Max	Conv.
	$\Delta\theta_{op\_inc\_C1}$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C2}$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C3}$	Paramètres conventionnels intervenant dans la définition de $\theta_{op\_inc\_max}$, en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C	$-\infty$	$+\infty$	2 3 4

Sorties

	Nom	Description	Uni
Groupe	$i_{inconf\_cons,ch}(h)$	Indicateur d'inconfort froid déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage θ_{iich}. *1: occupation, inconfort froid,* *0 : occupation, pas d'inconfort froid,* *-1: inoccupation.*	Ent

$i_{inconf\_cons,fr}(h)$	Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport à la température de consigne de refroidissement θ_{iifr}. *1: occupation, inconfort chaud,* *0 : occupation, pas d'inconfort chaud,* *-1: inoccupation.*	Ent
$i_{inconf\_C1,fr}(h)$	Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1. *1: occupation, inconfort chaud,* *0 : occupation, pas d'inconfort chaud,* *-1: inoccupation.*	Ent
$i_{inconf\_C2,fr}(h)$	Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 2. *1: occupation, inconfort chaud,* *0 : occupation, pas d'inconfort chaud,* *-1: inoccupation.*	Ent
$i_{inconf\_C3,fr}(h)$	Indicateur d'inconfort chaud déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 3. *1: occupation, inconfort chaud,* *0 : occupation, pas d'inconfort chaud,* *-1: inoccupation.*	Ent
$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h)$	Ecart à la température de consigne de refroidissement en situation d'inconfort chaud.	°C
$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$	Ecart à la température de consigne de chauffage en situation d'inconfort froid.	°C
$\Delta\theta_{op\_inc\_C1,fr}(h)$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C2,fr}(h)$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C3,fr}(h)$	Ecart à la température de confort, en situation d'inconfort froid, et en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3	°C
$Nbh_{inc\_cons,ch}$	Nombre d'heures d'inconfort froid (en période d'occupation) déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage θ_{iich}.	h
$Nbh_{inc\_cons,fr}$	Nombre d'heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage θ_{iifr}.	h
$Nbh_{inc\_C1,fr}$ $Nbh_{inc\_C2,fr}$ $Nbh_{inc\_C3,fr}$	Nombre d'heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	h
$DH_{inc\_cons,ch}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort froid en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage θ_{iich}.	K.h

$DH_{inc\_cons,fr}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport à la température de consigne de chauffage θ_{iifr}.	K.h
$DH_{inc\_C1,fr}$ $DH_{inc\_C2,fr}$ $DH_{inc\_C3,fr}$	Nombre de degrés-heures d'inconfort chaud en période d'occupation déterminé par rapport au seuil d'inconfort en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3	K.h

Variables internes

Nom	Description	Uni
$\theta_{rm}\ (j)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j.	°C
$\theta_{rm}\ (j\text{-}1)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j-1.	°C
$\theta_{ei,moy}\ (j)$	Température moyenne extérieure journalière valable au jour j (calculée sur l'ensemble des températures horaires du jour j-1).	°C
$\theta_{op\_inc\_max\_C1}\ (h)$ $\theta_{op\_inc\_max\_C2}\ (h)$ $\theta_{op\_inc\_max\_C3}\ (h)$	Seuil de température opérative d'inconfort chaud en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C

Tableau 7 : Nomenclature du modèle

4.5.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

4.5.3.1 ***Inconfort froid***

On considère que l'état d'inconfort froid est atteint lorsque la température opérative moyenne ressentie par les occupants, à puissances des systèmes nulles, devient inférieure à la température de consigne de chauffage θ_{iich} pour le groupe.

La notion d'inconfort ne concerne que les périodes d'occupation du groupe.

Si $i_{occ\_zone}(h) = 1$,
Si $\theta_{op,moy(0;0)}(h) < \theta_{iich}(h)$ *(en occupation et en inconfort froid),* alors,
$i_{inconf,ch}(h) = 1$

Sinon, (en occupation mais sans inconfort froid) (56)
$i_{inconf,ch}(h) = 0$

Sinon, (en inoccupation)
$i_{inconf,ch}(h) = -1$

4.5.3.2 ***Inconfort chaud***

On considère que l'état d'inconfort chaud est atteint lorsque la température opérative moyenne ressentie par les occupants, à puissances des systèmes nulles, devient supérieure à une valeur seuil.

Ce seuil maximal peut être déterminé par deux méthodes différentes :

- Soit il est égal à la température de consigne de refroidissement $\theta_{iifr}(h)$ du groupe au pas de temps considéré,

- Soit il est calculé en prenant en compte les aspects psychosociologiques (capacité d'agir manuellement sur les conditions intérieures, « mémoire » thermique…), l'adaptation de la vêture et le possible impact des vitesses de circulation d'air. La méthode employée pour tenir compte de ces facteurs exploite la moyenne glissante journalière des températures extérieures $\theta_{rm}(j)$, et fait appel à une classification du groupe en catégorie d'ambiance thermique (1, 2 ou 3), telle que définie dans la norme NF EN 16798-1. Cette méthode donne ainsi lieu à 3 calculs de seuil maximal de confort, différant d'une constante.

La présente fiche réalise les tests pour les quatre situations, et renvoie donc quatre informations différentes sur l'inconfort chaud.

4.5.3.2.1 Calculs intermédiaires pour l'inconfort chaud en surventilation naturelle

Dans un premier temps, on calcule θ_{rm} (j), la moyenne glissante au jour *j* de la température extérieure. Cette moyenne est calculée au premier pas de temps du jour j (*h* tel que IHJ=1) et reprise pour l'ensemble des autres pas de temps du jour.

Si j = 1,

$$\theta_{rm}\,(j) = 0$$

Sinon,

$$\theta_{ei,moy}(j) = \frac{\sum_{j-1}\theta_{ei}\,(h)}{24} \qquad (57)$$

$$\theta_{rm}\,(j) = 0.8 \times \theta_{rm}\,(j-1) + 0.2 \times \theta_{ei,moy}\,(j)$$

Dans un second temps, on détermine les valeurs de $\Delta\theta_{op\_inc}$ à utiliser dans le calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$, seuil d'inconfort maximal de température opérative ressentie pour les trois catégories d'ambiance. Les formules de calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$ sont les suivantes :un second temps, on détermine les valeurs de $\Delta\theta_{op\_inc}$ à utiliser dans le calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$, seuil d'inconfort maximal de température opérative ressentie pour les trois catégories d'ambiance. Les formules de calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$ sont les suivantes :

$$\theta_{op\_inc\_max\_C1}(h) = MAX(\theta_{iifr}(h);\, 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C1})$$

$$\theta_{op\_inc\_max\_C2}(h) = MAX(\theta_{iifr}(h);\, 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C2}) \qquad (58)$$

$$\theta_{op\_inc\_max\_C3}(h) = MAX(\theta_{iifr}(h);\, 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C3})$$

Ci-dessous une représentation graphique de l'évolution de $\theta_{op\_inc\_max}$ en fonction de θ_{rm}, pour une température de consigne de refroidissement de 26°C.

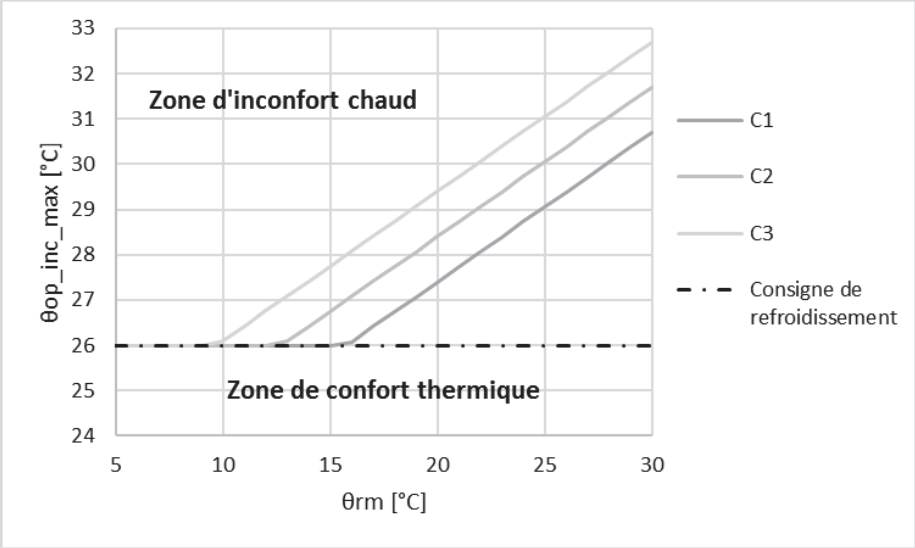


Figure 13: Limite haute de la zone de confort thermique en fonction des catégories d'ambiance

4.5.3.2.2 Test par rapport aux critères d'inconfort chaud

Si $i_{occ\_zone}(h) = 1$, *alors, (en occupation)*

Si $\theta_{op,moy\ (0;0)}\ (h) > \theta_{iifr}(h)$,

$i_{inconf\_cons,fr}\ (h) = 1$

Sinon,

$i_{inconf\_cons,fr}\ (h) = 0$

Si $\theta_{op,moy\ (0;0)}\ (h) > \theta_{op\_inc\_max\_C1}(h)$,

$i_{inconf\_C1,fr}\ (h) = 1$

Sinon,

$i_{inconf\_C1,fr}\ (h) = 0$

Si $\theta_{op,moy(0;0)}\ (h) > \theta_{op\_inc\_max\_C2}(h)$, (59)

$i_{inconf\_C2,fr}\ (h) = 1$

Sinon,

$i_{inconf\_C2,fr}\ (h) = 0$

Si $\theta_{op,moy(0;0)}\ (h) > \theta_{op\_inc\_max\_C3}(h)$,

$i_{inconf\_C3,fr}\ (h) = 1$

Sinon,

$i_{inconf\_C3,fr}\ (h) = 0$

Sinon, (en inoccupation)

$i_{inconf\_cons,fr}\ (h) = -1$

$i_{inconf\_C1,fr}\ (h) = -1$

$i_{inconf\_C2,fr}\ (h) = -1$

$i_{inconf\_C3,fr}\ (h) = -1$

4.5.3.3 *Calcul des écarts aux critères d'inconfort*

Les écarts aux critères d'inconfort ne sont non-nuls que lorsque les conditions d'inconfort chaudes ou froides sont remplies. Ces écarts servent de base à la définition des périodes d'autorisation de chauffage et de refroidissement.

$$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) = i_{inconf\_cons,ch} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left|\theta_{iich}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h)\right| \quad (60)$$

$$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h) = i_{inconf\_cons,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left|\theta_{iifr}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h)\right|$$

$$\Delta\theta_{op\_inc\_C1,fr}(h) = i_{inconf\_C1,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left|\theta_{op\_inc\_max\_C1}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h)\right| \quad (61)$$

$$\Delta\theta_{op\_inc\_C2,fr}(h) = i_{inconf\_C2,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left|\theta_{op\_inc\_max\_C2}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h)\right|$$

$$\Delta\theta_{op\_inc\_C3,fr}(h) = i_{inconf\_C3,fr} \times \frac{i_{inconf\_cons,ch} + 1}{2} \times \left|\theta_{op\_inc\_max\_C3}(h) - \theta_{op,moy(0;0)}(h)\right|$$

4.5.3.4 *Calcul du nombre d'heures d'inconfort*

Le nombre d'heures d'inconfort est calculé pour les cinq critères d'inconfort. La variable *Nbh* est incrémentée de 1 à chaque pas de temps durant lequel l'occupant est en inconfort.

En inconfort froid :

Initialisation : $Nbh_{inc\_cons,ch} = 0$

A chaque pas de temps *h*,

- si $i_{inconf\_cons,ch}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_cons,ch} = Nbh_{inc\_cons,ch} + 1 \quad (62)$$

- sinon $\left(i_{inconf\_cons,ch}(h) = 0 \text{ ou } -1\right)$

$$Nbh_{inc\_cons,ch} = Nbh_{inc\_cons,ch}$$

En inconfort chaud :

Initialisation : $Nbh_{inc\_cons,fr} = 0$

$Nbh_{inc\_C1,fr} = 0$

$Nbh_{inc\_C2,fr} = 0$

$Nbh_{inc\_C3,fr} = 0$

A chaque pas de temps *h*,

- si $i_{inconf\_cons,fr}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_cons,fr} = Nbh_{inc\_cons,fr} + 1$$

- sinon $\left(i_{inconf\_cons,fr}(h) = 0 \text{ ou } -1\right)$

$$Nbh_{inc\_cons,fr} = Nbh_{inc\_cons,fr}$$

A chaque pas de temps *h*,

- si $i_{inconf\_C1,fr}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_C1,fr} = Nbh_{inc\_C1,fr} + 1 \quad (63)$$

- sinon $\left(i_{inconf\_C1,fr}(h) = 0 \text{ ou } -1\right)$

$$Nbh_{inc\_C1,fr} = Nbh_{inc\_C1,fr}$$

A chaque pas de temps *h*,

- si $i_{inconf\_C2,fr}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_C2,fr} = Nbh_{inc\_C2,fr} + 1$$

- sinon $\left(i_{inconf\_C2,fr}(h) = 0 \text{ ou } -1\right)$

$$Nbh_{inc\_C2,fr} = Nbh_{inc\_C2,fr}$$

A chaque pas de temps *h*,

- si $i_{inconf\_C3,fr}(h) = 1$

$$Nbh_{inc\_C3,fr} = Nbh_{inc\_C3,fr} + 1$$

- sinon $\left(i_{inconf\_C3,fr}(h) = 0 \text{ ou } -1\right)$

$$Nbh_{inc\_C3,fr} = Nbh_{inc\_C3,fr}$$

4.5.3.5 *Calcul de la somme des degrés-heures d'inconfort*

Cette somme exprime les écarts entre la température d'inconfort et la température réelle du groupe sans systèmes de chauffage ni de refroidissement (températures en évolution libre), sur l'ensemble des pas de temps de l'année (8760 heures ici).

En inconfort froid :

$$DH_{inc\_cons,ch} = \sum_{h} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) \quad (64)$$

En inconfort chaud :

$$DH_{inc\_cons,fr} = \sum_{h} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$$
$$DH_{inc\_C1,fr} = \sum_{h} \Delta\theta_{op\_inc\_C1,fr}(h)$$
$$DH_{inc\_C2,fr} = \sum_{h} \Delta\theta_{op\_inc\_C2,fr}(h) \quad (65)$$
$$DH_{inc\_C3,fr} = \sum_{h} \Delta\theta_{op\_inc\_C3,fr}(h)$$

Note : les résultats fournissent le nombre de degrés-heures d'inconfort en période d'occupation, les écarts de températures étant nuls en période d'inoccupation.

4.6 C_Ein_Détermination des saisons

4.6.1 INTRODUCTION

La fiche détermination des saisons intervient en amont de l'ensemble des calculs du groupe.

Pour un groupe donné, deux saisons différentes interviennent dans le moteur de calcul :

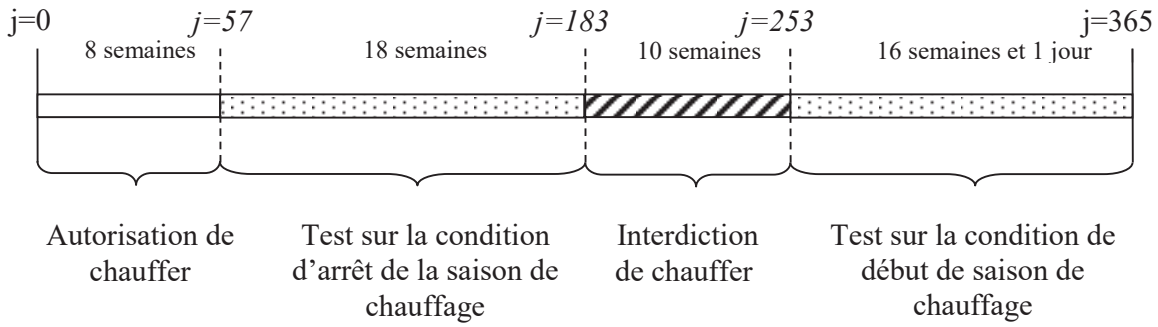
- **Saison propre :** elle conditionne les algorithmes de gestion et de régulation des différents composants du groupe.
- **Saison effective :** elle conditionne le fonctionnement des émetteurs, réseaux de distribution et générateurs de chauffage et/ou refroidissement du groupe. En dehors de la saison effective de chauffage (de refroidissement), l'ensemble des systèmes de chauffage (de refroidissement) sont désactivés : les besoins éventuels transmis par les émetteurs ne sont pas pris en compte.

La présente fiche ne traite que la procédure relative aux saisons propres.

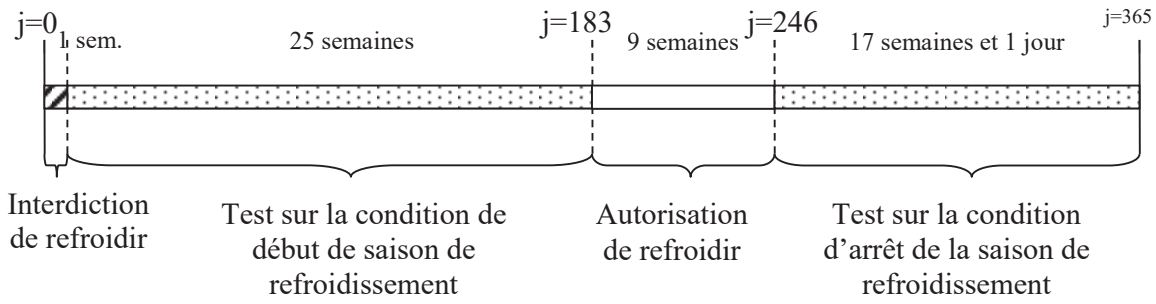
La saison effective est une combinaison des saisons propres des différents groupes connectés à une même génération au travers de leurs réseaux de distribution. Elle peut être commune à plusieurs groupes ou non, selon les isolations hydrauliques possibles au niveau de la génération.

Les saisons propres sont déterminées aux travers de tests logiques menées à chaque début de jour de simulation. L'initiation d'une saison propre repose sur la comparaison du total cumulé des degrés-heures d'inconfort thermique à un seuil de 40 °C.h. L'achèvement d'une saison propre est quant à lui associé sur une comparaison de la moyenne glissante des besoins en chaud et en froid du groupe à une valeur limite de 2 Wh/m².

En chauffage, l'année de simulation se décompose ainsi :



En refroidissement, l'année de simulation se décompose ainsi :



4.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 8 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, *j* le jour de simulation, *s* la semaine de simulation et *m* le mois au sens de la décomposition faite pour les scénarios.

Entrées du composant

	Nom	Description	Uni
Th-D	h_{leg}	Heure légale au pas de temps h	h
Th-D	$Is_{conf\_adapt}(h)$	*Indicateur de période de confort adaptatif :* *0 - hors période de confort adaptatif* *1 - en période de confort adaptatif*	-
Zone	$\{i_{occ\_zone}(h)\}_{(j-28;j-1)}$	Ensemble des valeurs de l'indicateur traduisant l'occupation du jour j-28 au jour j-1 inclus.	Ent
Groupe	$\{Q_{sys\_ch}(h)\}_{(j-28;j-1)}$	Ensemble des valeurs des besoins de chauffage du groupe, hors prise en compte des saisons, du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	kWh
Groupe	$\{Q_{sys\_fr}(h)\}_{(j-28;j-1)}$	Ensemble des valeurs des besoins de refroidissement du groupe, hors prise en compte des saisons, du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	kWh
Groupe	$\{\Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h)\}_{(j-28;j-1)}$	Ensemble des valeurs des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_inc\_cons,\ ch}(h)$ lié à l'inconfort froid du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	°C
Groupe	$\{\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)\}_{(j-28;j-1)}$	Ensemble des valeurs des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)$ liés à l'inconfort chaud du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	°C
Calculs groupe	$\{Q_{req,gen,ch}(h)\}_{j-28;j-1)}$	Ensemble des sommes des différentes valeurs des demande en énergie de chauffage au niveau des générations du projet, jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	Wh
Calculs groupe	$\{Q_{req,gen,fr}(h)\}_{j-28;j-1)}$	Ensemble des sommes des différentes valeurs des demande en énergie de refroidissement au niveau des générations du projet, du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	Wh

Sorties

	Nom	Description	Uni.
Gestion/régulation des ouvertures et protections mobiles	$Saison(j)$	La saison propre du groupe au jour j, sous forme d'entier : *1: saison de refroidissement,* *2: mi-saison,* *3: saison de chauffage,* *4 : saison mixte de chauffage et refroidissement.*	Ent.
	$Aut_{ch,pro}(j)$	Indicateur de saison de chauffage. *1 : le groupe est en saison de chauffage.*	Ent.
	$Aut_{fr,pro}(j)$	Indicateur de saison de refroidissement. *1 : le groupe est en saison de refroidissement.*	Ent.
Bâtiment	$j_{debut\_ch}^{gr}$	Jour de début de la saison de chauffage propre au bâtiment.	j
	$j_{fin\_ch}^{gr}$	Jour de fin de la saison de chauffage propre au bâtiment.	j
	$j_{debut\_fr}^{gr}$	Jour de début de la saison de refroidissement propre au bâtiment.	j
	$j_{fin\_fr}^{gr}$	Jour de fin de la saison de refroidissement propre au bâtiment.	j

Paramètres d'intégration

	Nom	Description	Uni.	Min	Max	Conv.
	A^{gr}	Surface utile du groupe en m².	m²	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Uni.	Min	Max	Conv.
Paramètres de basculement des saisons de fonctionnement	*Cat_amb*	Catégorie d'ambiance du groupe considéré au regard des catégories 1, 2 et 3 définies dans la fiche « Indicateurs de confort ».	Ent	0	3	Voir Tableau 10
	$[p_{occ}^{s}(J,H)]_{J=1 \text{ à } 7 \text{ et } H=1 \text{ à } 24}$	Matrice des indicateurs d'occupation de la zone par jour/heure	Ent	0	1	-
	$Seuil_{debut\_ch}$	Seuil de début de la saison de chauffage, à comparer à la moyenne glissante des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_inc,ch}(h)$.	°C.h	0	+∞	40
	$Seuil_{fin\_ch}$	Seuil de fin de saison de chauffage, à comparer à la moyenne glissante des besoins de chauffage	Wh/m²	0	+∞	2

	$Seuil_{debut\_fr}$	Seuil de début de la saison de refroidissement, à comparer à la moyenne glissante des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)$.	°C.h	0	+∞	40
	$Seuil_{fin\_fr}$	Seuil de fin de saison de refroidissement, à comparer à la moyenne glissante des besoins de froid.	Wh/m²	0	+∞	2
	$Seuil\_Nb_{redemarage}$	Seuil maximal du nombre de redémarrage des systèmes de chauffage autorisés sur la période entre l'hiver et l'été.	Ent.	0	+∞	1

Variables internes

	Nom	Description	Uni.
	$Nb_{h\_occ\_ref}$	Nombre d'heures d'occupation de référence correspondant à une semaine d'occupation type pour l'usage considéré.	h
	$Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j)$	Nombre d'heures d'occupation cumulé sur la période de sommation des °C.h d'inconfort froid.	h
	$Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j)$	Nombre d'heures d'occupation cumulé sur la période de sommation des °C.h d'inconfort chaud.	h
	$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)$	Nombre d'heures total cumulé sur la période où sont sommés les besoins de chauffage.	h
	$Nb_{h\_total\_somme\_fr}(j)$	Nombre d'heures total cumulé sur la période où sont sommés les besoins de refroidissement.	h
Repris du jour j-1	$Aut_{ch,pro}^{gr}(j-1)$	Autorisation de chauffer propre au groupe, au jour précédent.	Ent.
Repris du jour j-1	$Aut_{fr,pro}^{gr}(j-1)$	Autorisation de refroidir propre au groupe, au jour précédent.	Ent.
	$MG_{bch}^{gr}(j)$	Moyenne glissante sur 4 semaines des besoins bruts de chauffage du groupe.	Wh/m²
	$MG_{bfr}^{gr}(j)$	Moyenne glissante sur 4 semaines des besoins bruts de refroidissement du groupe.	Wh/m²
	$MG_{dh\_ch}^{gr}(j)$	Moyenne glissante sur 4 semaines des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_diff,ch}(h)$ liés à l'inconfort froid.	°C.h
	$MG_{dh\_fr}^{gr}(j)$	Moyenne glissante sur 4 semaines des degrés-heures $\Delta\theta_{op\_diff,fr}(h)$ liés à l'inconfort chaud.	°C.h
	$Nb_{redemarrage}$	Nombre de redémarrage des systèmes de chauffage sur la période entre	Ent.

	l'hiver et l'été.	
$Nb_{j\_intégration,ch}$ $Nb_{j\_intégration,fr}$	Nombre de jour d'intégration pour le calcul des °C.h d'inconfort.	Ent

Tableau 8 : Nomenclature du modèle

4.6.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Le nombre d'heures d'occupation de référence correspond à une semaine d'occupation type pour l'usage considéré. Il est calculé par sommation de l'ensemble des valeurs du tableau des indicateurs d'occupation de la zone par jour (1 à 7)/heure (1 à 24). Le calcul est réalisé en début de simulation.

$$Nb_{h\_occ\_ref} = \sum_{J=1}^{7} \sum_{H=1}^{24} p_{occ}(J,H) \quad (66)$$

4.6.3.1 *Calcul de* $Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$

La variable $Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$ prend la valeur 1 à partir d'un jour de l'année où la condition d'initiation est remplie jusqu'à un jour où la condition d'arrêt est remplie. L'ensemble des jours où l'autorisation prend la valeur 1 est appelé saison de chauffage.

La définition de ces deux dates se fonde sur les critères suivants :

- Pour décréter un démarrage, une somme glissante sur les jours précédant le jour actuel *j* des degrés-heures en situation d'inconfort thermique froid (voir la fiche « Indicateurs de confort »), en mode Th-D et en période de confort adaptatif, le chauffage n'est jamais autorisé.

- Pour décréter un arrêt, une moyenne glissante sur les jours précédant le jour actuel *j* des besoins en chaud du groupe,

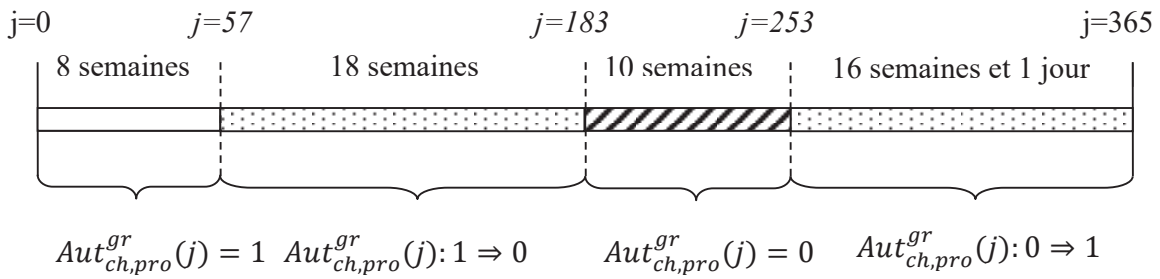
Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- Au pas de temps initial et tout au long des 8 premières semaines de simulations, $Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$ =1 (valeur initiale),

- L'arrêt saisonnier des systèmes de chauffage est décrété entre le 57ème jour de simulation (1er mars au sens des scénarios) et le 183ème jour de simulation (1er juillet au sens des scénarios). Le premier arrêt décrété selon les algorithmes peut être provisoire : on admet qu'un redémarrage puisse avoir lieu, afin de prendre en compte des alternances de redoux et de périodes froides. Si c'est le cas, le deuxième arrêt ne peut être décrété qu'à partir d'une semaine après ce redémarrage et il est définitif :

  $Seuil\_Nb_{redemarrage} = 1$ *(un seul redémarrage pris en compte)* (67)

- Le démarrage saisonnier des systèmes de chauffage est décrété entre le 253ème jour de simulation (1er jour de la 2ème semaine de septembre, au sens des scénarios) et la fin de la simulation. Une fois démarrés, les systèmes de chauffage restent en fonction jusqu'à la fin de l'année.



4.6.3.1.1 Calcul de $MG_{dh,ch}$

$MG_{dh\_ch}^{gr}(j)$ est calculé lorsqu'est évaluée la nécessité de redémarrer les systèmes de chauffage, ce qui peut advenir dans deux situations :

- à la fin de l'été, en anticipation d'un démarrage prochain des systèmes de chauffage. Le calcul débute à partir du 253ème jour de simulation et jusqu'à ce que commence la saison de chauffage.
- à la fin de l'hiver ou au printemps, si un arrêt effectif des systèmes de chauffage est survenu ($Aut_{ch,eff}^{gr}(j-2)=0$). On autorise alors la possibilité d'un redémarrage si une période froide survient de nouveau. Le calcul débute à partir du deuxième jour ayant suivi l'arrêt du chauffage.

Le calcul est effectué chaque jour *j* de simulation concerné à h_{leg} = 9h. La valeur obtenue est conservée pour l'ensemble des pas de temps jusqu'à h_{leg} = 9h le jour *j+1*.

Initialisation (sur une journée) :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j) = \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} i_{occ\_zone}(h)$$
$$MG_{dh\_ch}^{gr}(j) = \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) \quad (68)$$

Par la suite, on étend progressivement la moyenne glissante jusqu'à une durée de 4 semaines. La relation ne consiste plus qu'en une addition à la somme glissante :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j) = Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} i_{occ\_zone}(h)$$
$$MG_{dh\_ch}^{gr}(j) = MG_{dh\_ch}^{gr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) \quad (69)$$

Enfin, une fois ce délai passé, la relation ne consiste plus qu'en un décalage de la somme glissante :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j) = Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} i_{occ\_zone}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} i_{occ\_zone}(h)$$
$$MG_{dh\_ch}^{gr}(j) = MG_{dh\_ch}^{gr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,ch}(h) \quad (70)$$

4.6.3.1.2 Calcul de MG_{bch} en calcul BBio

Le processus suivant n'est à appliquer que dans le cadre d'un calcul du coefficient BBio.

$MG_{bch}^{gr}(j)$ est calculé uniquement lorsque le chauffage est en fonction et au cours de la période entre le 57ème et le 183ème jour. Au 57ème jour, le calcul est mené sur les 4 semaines précédant cette date (672 heures). Si par la suite intervient un redémarrage de la saison de chauffage, le calcul est mené à partir de la fin de la première semaine de fonctionnement.

L'algorithme est déclenché chaque jour *j* de simulation concerné à h_{leg} = 9h. La valeur obtenue est conservée pour l'ensemble des pas de temps jusqu'à h_{leg} = 9h le jour *j+1*.

Initialisation une fois les 8 premières semaines passées (pour le 57ème jour de simulation):

$$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j) = 672$$

$$MG_{bch}^{gr}(j) = \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)} \times \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ \ j-28)}^{9h(jour\ \ j)} Q_{sys\_ch}(h)}{A^{gr}} \quad (71)$$

Ensuite, jusqu'à l'arrêt provisoire ou définitif (au sens propre au groupe), la relation ne consiste plus qu'en un « décalage » de la moyenne glissante :

$$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j) = 672$$

$$MG_{bch}^{gr}(j) = MG_{bch}^{gr}(j-1) + \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)} \times \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_ch}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} Q_{sys\_ch}(h)}{A^{gr}} \quad (72)$$

Dans le cas où un redémarrage des systèmes de chauffage survient ($Nb_{redémarrage}$ >0), le calcul commence une semaine après le redémarrage, soit lorsque $Aut_{ch,pro}^{gr}(j-1) = 1$ et $Aut_{ch,pro}^{gr}(j-8) = 0$:

$$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j) = 168$$

$$MG_{bch}^{gr}(j) = \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)} \times \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_ch}(h)}{A^{gr}} \quad (73)$$

Par la suite, on étend progressivement la moyenne glissante jusqu'à une durée de 4 semaines (28 jours). La relation ne consiste plus qu'en une addition à la somme glissante :

$$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j) = Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j-1) + 24$$

$$MG_{bch}^{gr}(j) = \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)} \times \left(Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j-1) \times MG_{bch}^{gr}(j-1) + \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_ch}(h)}{A^{gr}}\right) \quad (74)$$

Enfin, une fois ces 28 jours passés, jusqu'à l'arrêt définitif, la relation ne consiste plus qu'en un « décalage » de la moyenne glissante :

$$Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j) = 672$$

$$MG_{bch}^{gr}(j) = MG_{bch}^{gr}(j-1) + \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_ch}(j)} \times \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_ch}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} Q_{sys\_ch}(h)}{A^{gr}} \quad (75)$$

4.6.3.1.3 Calcul de MG_{bch} en calcul des consommations

La procédure est strictement identique à celle en calcul du BBio, à ceci près qu'on ne retient pas les besoins en chauffage au niveau de l'émission $Q_{sys\_ch}(h)$, mais les besoins intégrant les pertes de distributions et ramenés au groupe $Q_{req\_gen\_ch}(h)$.

4.6.3.1.4 Assemblage des calculs

L'algorithme suivant est déclenché chaque jour j de simulation, lorsque h_{leg} = 9h.

Pour les 8 premières semaines de simulation (jour 1 à 56), on applique conventionnellement une valeur de 1 sauf en mode Th_D en période de confort adaptatif :

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 1$

Si *(en mode Th-D :)* $Is_{confort\_adaptatif}(h) \geq 0$, alors, (76)

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$

Pour la période allant du 57ème jour au 182ème jour de simulation (fin de l'hiver et printemps) :

En mode TH-D et en période de confort adaptatif l'autorisation de chauffage est conventionnellement nulle:

Si *(en mode Th-D :)* $Is_{confort\_adaptatif}(h) \geq 0$, alors,

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$ (77)

Dans les autres cas, l'algorithme est le suivant :

Si$Aut^{gr}_{ch,pro}(j-1) = 1$ *(chauffage en fonction)*,

Si $MG^{gr}_{bch}(j) \leq Seuil_{fin,ch}$ et $\sum_{j-7}^{j-1} Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 7$ *(seuil de besoins franchi, et chauffage en fonction depuis au moins une semaine),*

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$

Sinon,

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 1$

Sinon, *(chauffage coupé du point de vue de l'autorisation propre au groupe)*

Si $Aut^{gr}_{ch,eff}(j-1) = 1$, *(la coupure n'est pas effective au niveau de la génération qui dessert le groupe)*

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$ (78)

Sinon, *(une journée de coupure effective est passée : le test pour prendre en compte un éventuel redémarrage est lancé)*

Si $MG^{gr}_{dh\_ch}(j) \geq Seuil_{début,ch} \times MAX(0.5; \frac{Nb_{h\_occ\_somme}(j)}{4 \times Nb_{h\_occ\_ref}})$ *et* $Nb_{redemarrage} < Seuil\_Nb_{redemarrage}$ *(seuil d'inconfort froid franchi suite à un arrêt non-définitif),*

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 1$

$Nb_{redemarrage} = Nb_{redemarrage} + 1$

Sinon, *(le seuil d'inconfort froid n'est pas franchi, ou l'arrêt définitif a été décrété),*

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$

Pour la période allant du 183ème jour au 252ème jour de simulation, le chauffage est conventionnellement interdit :

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$ (79)

Pour la période allant du 253ème jour à la fin de la simulation (fin de l'été et automne) :

En mode TH-D et en période de confort adaptatif l'autorisation de chauffage est conventionnellement nulle:

Si *(en mode Th-D :)* $Is_{confort\_adaptatif}(h) \geq 0$, alors,

$$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0 \quad (80)$$

Dans les autres cas, l'algorithme est le suivant :

Si $Aut^{gr}_{ch,pro}(j-1) = 0$, *(chauffage coupé)*,

Si $MG^{gr}_{dh\_ch}(j) \geq Seuil_{début,ch} \times MAX(0.5; \frac{Nb_{h\_occ\_somme\_ch}(j)}{4 \times Nb_{h\_occ\_ref}})$

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 1$

Sinon,

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = 0$ (81)

Sinon, *(chauffage en fonction)*,

$Aut^{gr}_{ch,pro}(j) = Aut^{gr}_{ch,pro}(j-1)$

4.6.3.2 *Calcul de* $Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$

La variable $Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$ est équivalente à $Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$, mais pour l'aspect refroidissement.

Dans le cas où le groupe ne dispose pas de système de refroidissement (i_{clim}=*0*), la variable $Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$ est nulle toute l'année.

L'algorithme se fonde sur les critères suivants:

- Pour décréter le démarrage saisonnier des systèmes de froid, une somme glissante sur une durée de 1 à 4 semaines précédant le jour actuel *j* des degrés-heures en situation d'inconfort thermique chaud (voir la fiche « Indicateurs de confort »).

  En mode Th-D, le démarrage saisonnier est également décrété au cours de la première journée de confort adaptatif rencontrée (s'il ne l'a pas déjà été par le critère standard).

- Pour décréter l'arrêt des systèmes de froid, une moyenne glissante sur une durée de 4 semaines précédant le jour actuel *j* des besoins bruts en froid du groupe.

  En mode Th-D, l'arrêt saisonnier n'est décrété sur la base de ce critère que si on se trouve en dehors d'une période de confort adaptatif.

Dans une première approche, on considèrera les hypothèses suivantes :

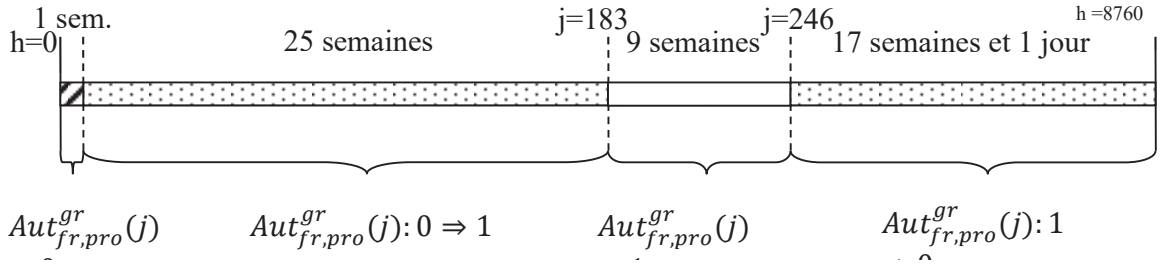
- Durant la première semaine de simulation, on applique une valeur nulle : $Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 0$.

- La saison d'autorisation de refroidissement débute avant le 183ème jour de simulation (1er juillet au sens des scénarios).

- Entre le 183ème et le 246ème jour (non-inclus), on autorise le refroidissement quelques soient les cas.

- La saison d'autorisation de refroidissement se termine dans la période allant du 246ème jour de simulation à la fin de la simulation.

Pour i_{clim} =*1* :



4.6.3.2.1 Catégories d'ambiance du groupe

Les valeurs de $\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)$ à récupérer de la fiche « Indicateurs de confort » dépendent de la valeur du paramètre intrinsèque *Cat_amb* attribuée au groupe.

Cat_amb	$\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)$
0	$\Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$
1	$\Delta\theta_{op\_inc\_C1,fr}(h)$
2	$\Delta\theta_{op\_inc\_C2,fr}(h)$
3	$\Delta\theta_{op\_inc\_C3,fr}(h)$

Tableau 9: correspondance entre Cat_amb et les valeurs de $\Delta\theta_{op\_inc,fr}(h)$ à récupérer

La valeur de catégorie d'ambiance retenue dépend du type d'usage du projet :

USAGE de la zone au sens des scénarios	**Valeur de** *Cat_amb*
Bâtiments à usage d'habitation	1
Autres usages	1

Tableau 10: relation entre les catégories d'ambiance et le type d'usage

4.6.3.2.2 Calcul de $MG_{dh,fr}$ pour le groupe

$MG^{gr}_{dh\_fr}(j)$ est calculé pour chaque jour de simulation à partir du 8ème jour de simulation et jusqu'au 183ème jour de simulation non-inclus. Le calcul est effectué chaque jour *j* de simulation concerné à h_{leg} = 9h. La valeur obtenue est conservée pour l'ensemble des pas de temps jusqu'à h_{leg} = 9h le jour *j+1*.

Pour le 8ème jour de simulation :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j) = \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} i_{occ\_zone}(h) \quad (82)$$

$$MG^{gr}_{dh\_fr}(j) = \sum_{hleg=9h(jour\ \ j-1)}^{9h(jour\ \ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$$

Pour les trois semaines suivantes, on étend progressivement la moyenne glissante à une durée de 4 semaines. La relation ne consiste plus qu'en une addition à la somme glissante :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j) = Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ \ j-1)}^{9h(jour\ \ j)} i_{occ\_zone}(h) \quad (83)$$

$$MG^{gr}_{dh\_fr}(j) = MG^{gr}_{dh\_fr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ \ j-1)}^{9h(jour\ \ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h)$$

Ensuite, jusqu'au 183ème jour de simulation non-inclus, la relation ne consiste plus qu'en un « décalage » de la somme glissante :

$$Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j) = Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} i_{occ\_zone}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} i_{occ\_zone}(h)$$

$$MG_{dh\_fr}^{gr}(j) = MG_{dh\_fr}^{gr}(j-1) + \sum_{hleg=9h(jour\ \ j-1)}^{9h(jour\ \ j)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} \Delta\theta_{op\_inc\_cons,fr}(h) \quad (84)$$

4.6.3.2.3 Calcul de MG_{bfr} en calcul BBio

Le processus suivant n'est à appliquer que dans le cadre d'un calcul du coefficient BBio.

$MG_{bfr}^{gr}(j)$ est calculé pour chaque jour de simulation à partir du 246ème jour et jusqu'à la fin de la simulation. Le calcul est effectué chaque jour *j* de simulation concerné à h_{leg} = 9h. La valeur obtenue est conservée pour l'ensemble des pas de temps jusqu'à h_{leg} = 9h le jour *j+1*.

Pour le 246ème jour de simulation :

$$Nb_{h\_total\_somme\_fr}(j) = 672$$

$$MG_{bfr}^{gr}(j) = \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_fr}(j)} \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_fr}(h)}{A^{gr}} \quad (85)$$

Ensuite, et jusqu'à la fin de la simulation, la relation ne consiste plus qu'en un « décalage » de la moyenne glissante :

$$Nb_{h\_total\_somme\_fr}(j) = 672$$

$$MG_{bfr}^{gr}(j) = MG_{bfr}^{gr}(j-1) + \frac{1}{Nb_{h\_total\_somme\_fr}(j)} \frac{\sum_{hleg=9h(jour\ j-1)}^{9h(jour\ j)} Q_{sys\_fr}(h) - \sum_{hleg=9h(jour\ j-28)}^{9h(jour\ j-27)} Q_{sys\_fr}(h)}{A^{gr}} \quad (86)$$

4.6.3.2.4 Calcul de MG_{bfr} en calcul des consommations

La procédure est strictement identique à celle en calcul du BBio, à ceci près qu'on ne retient pas les besoins en refroidissement au niveau de l'émission $Q_{sys\_fr}(h)$, mais les besoins intégrant les pertes de distributions et ramenés au groupe $Q_{req\_gen\_fr}(h)$.

4.6.3.2.5 Assemblage des calculs

L'algorithme suivant est déclenché chaque jour j de simulation, lorsque h_{leg} = 9h.

Pour la première semaine de simulation, jusqu'au 8ème jour non-inclus :

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 0 \quad (87)$$

Pour la période allant du 8ème jour au 182ème jour:

Si $Aut_{fr,pro}^{gr}(j-1) = 0$,

Si $MG_{dh\_fr}^{gr}(j) \geq Seuil_{debut\_fr} \times MAX(0.5; \frac{Nb_{h\_occ\_somme\_fr}(j)}{4 \times Nb_{h\_occ\_ref}})$

ou *(en mode Th-D :)* $Is_{confort\_adaptatif}(h) \geq 0$, alors,

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 1 \quad (88)$$

Sinon,

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 0$$

Sinon,

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = Aut_{fr,pro}^{gr}(j-1)$$

Pour la période allant du 183ème au 245ème jour :

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 1 \quad (89)$$

Pour la période allant du 246ème jour à la fin de la simulation :

Si $Aut_{fr,pro}^{gr}(j-1) = 1$,

Si $MG_{bfr}^{gr}(j) \leq Seuil_{fin\_fr}$ *et(en mode Th-D :)* $Is_{confort\_adaptatif}(h) = 0$,

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 0$$

Sinon, (90)

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = 1$$

Sinon,

$$Aut_{fr,pro}^{gr}(j) = Aut_{fr,pro}^{gr}(j-1)$$

4.6.3.3 *Cas particulier du calcul du BBio*

Dans le cadre du calcul du BBio la méthode de calcul des autorisations propres décrites ci-dessus est appliquée.

Les autorisations effectives sont prises égales aux autorisations propres du groupe :

$$\begin{cases} Aut_{ch,eff}^{gr}(j) = Aut_{ch,pro}^{gr}(j) \\ Aut_{fr,eff}^{gr}(j) = Aut_{fr,pro}^{gr}(j) \end{cases} \quad (91)$$

4.6.3.4 *Passage des variables d'autorisation à la saison propre*

Le passage des variables d'autorisation déterminées ci-dessus à la valeur de $Saison^{gr}(j)$ se fait selon le tableau suivant :

Tableau 11: Relations entre $Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$,$Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$ et les saisons propres de groupe

	Saison de refroidissement	Mi-saison	Saison de chauffage	Saison mixte
$Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$	0	0	1	1
$Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$	1	0	0	1
$Saison^{gr}(j)$	**1**	**2**	**3**	**4**

4.6.3.4.1 Détermination des dates de début et fin de saisons propres

Les dates de début et de fin pour la saison propre de chauffage et la saison propre de refroidissement sont uniques pour un groupe. Elles sont déterminées pour une exploitation dans le fiche de sortie du projet.

Pour chaque bâtiment (d'indice *bat)* du projet,

Si $Aut^{gr}_{ch,pro}(j-1) < Aut^{gr}_{ch,pro}(j)$, alors,

$$j^{gr}_{debut\_ch} = j$$

Si $Aut^{gr}_{ch,pro}(j-1) > Aut^{gr}_{ch,pro}(j)$, alors,

$$j^{gr}_{fin\_ch} = j \quad (92)$$

Si $Aut^{gr}_{fr,pro}(j-1) < Aut^{gr}_{fr,pro}(j)$, alors,

$$j^{gr}_{debut\_fr} = j$$

Si $Aut^{gr}_{fr,pro}(j-1) > Aut^{gr}_{fr,pro}(j)$, alors,

$$j^{gr}_{fin\_fr} = j$$

4.7 C_EIN_calcul des consommations electriques des équipements mobiliers

4.7.1 INTRODUCTION

Les équipements mobiliers regroupent tous les appareils absents à la livraison du bâtiment et consommant de l'énergie électrique : équipements bureautiques, électroménagers, appareils domestiques… à l'exception des dispositifs d'éclairage mobiliers déjà comptabilisés partiellement dans la méthode Th-BCE pour certains types de locaux (aires de vente, bureaux).

Par convention, les consommations électriques des équipements mobiliers sont considérées égales aux valeurs d'apports internes de chaleur non dus aux occupants.

4.7.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 12 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul de l'autoconsommation.

Entrées du composant

C_EIN_Scénarios conventionnels

Nom	Description	Unité	Min	Max	conv
$Usage^z$	Type d'usage de la zone n°z				
$Q_{max\_proc}^{loc}$	Apport maximal de chaleur interne lié aux équipements mobiliers du local	W/m²	≥0		
$t^a_{ch\ (m,s)}$	Ratio d'apports internes de chaleur lié à la consommation des équipements mobiliers du local par mois/semaine	Réel	0	1	
$t^s_{ch\ (j,h)}$	Ratio d'apports internes de chaleur liée à la consommation des équipements mobiliers du local par jour/heure	Réel	0	1	
A^{loc}	Surface utile de chaque local d'indice loc constituant la zone z	m²	≥0		

Sorties

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$C^z_{ef\_us\_mob}\ (h)$	Consommation électrique des usages mobiliers de la zone au pas de temps horaire	Wh			
$C^z_{ef\_us\_mob\_annue}$	Consommation électrique annuelle des usages mobiliers de la zone en énergie finale par m² de S_{REF}	kWh/m². S_{REF}			

Variables internes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$C^{loc}_{ef\_us\_mob}\ (h)$	Consommation électrique des usages mobiliers du local au pas de temps horaire	Wh			

Tableau 12 : Nomenclature du modèle

4.7.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La consommation électrique du local d'indice loc est calculée de la même manière que les apports internes de chaleur associés aux équipements mobiliers dans la méthode Th-BCE :

$$C_{ef\_us\_mob}^{loc}(h) = A^{loc} . Q_{max\_proc}^{loc} . t^{a}_{ch\ (m,s)} . t^{s}_{ch\ (j,h)} \quad (93)$$

La consommation électrique totale des usages mobiliers de la zone est la somme des consommations de chaque local :

$$C_{ef\_us\_mob}^{z}(h) = \sum_{loc \in z} C_{ef\_us\_mob}^{loc}(h) \quad (94)$$

Enfin, la consommation annuelle des usages mobiliers de la zone s'obtient par sommation sur l'année :

$$C_{ef\_us\_mob\_annuel}^{z} = \sum_{h=1}^{8760} C_{ef\_us\_mob}^{z}(h) \quad (95)$$

5. BATI

Cette partie regroupe la description et les calculs liés aux différents composants du bâti (parois opaques, baies vitrées, ponts thermiques, espace tampon). Pour chaque élément on trouve donc :

- Une fiche C-BAT-composant présentant les éléments d edescription, et le calculs des flux thermiques, solaires et éventuellment lumineux à travers ce omposant
- Une fiche C_BAT_ensemble_composant réalisant la sommation pour l'ensemble des composants de même type pour chaque groupe du bâtiment
- Une fioche C_BAT_assemblage_composant venant prendre en compte l'impact des masques associés au composant.

A l'aide des sorties de ces fiches, la fiche C_BAT_comportement thermique d'un groupe, permet, à travers l'utilisation du réseau RC, le calcul des puissances requises (chauffage, refroidissement) et les températures intérieures de chaque groupe.

On trouve également d'autres fiches spécifiques au groupe, à la zone, et au bâtiment, dans lesquelles sont recueillis les divers éléments propres à chaque entité, et calculées les sorties propres à chaque entité.

On trouve enfin des éléments liées au bâti :

- Calcul de l'équilibre des pressions entre les débits entrants et sortants (liés aux système de ventilation ou à l'étanchité de l'enveloppe - perméabilité, entrées d'air

- Des éléments de gestion associés aux baies(protections moibles, ouverture des baies)

5.1 S3_BAT-Assemblage_Batiment

5.1.1 INTRODUCTION

Un bâtiment est décrit suivant 4 niveaux :

1) le niveau "Bâtiment",
2) le niveau "Zone",
3) le niveau "Groupe",
4) le niveau "Local".

Le niveau bâtiment est le niveau où s'exprime l'exigence réglementaire en termes de coefficients Bbio, Cep et Cep,nr.

Les éléments communs à tout le bâtiment (par exemple la situation géographique) sont définis à ce niveau[1].

Cette fiche décrit les assemblages au niveau ‘’bâtiment’’.

[1] En cas de calcul simultané sur plusieurs bâtiments, le niveau projet sera être utilisé pour les données géographiques

5.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 13 donne la nomenclature des différentes variables du modèle

Entrées du système

Nom	Description	Unité

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
département	Numéro du département		1	95	
Alt	Altitude du projet	m	0		
Dmer	Distance à la mer	Km	0		
Durb	Distance à l'îlot urbain	Km	0		

Sorties

Nom	Description	Unité
$Bch_m^{bât}$	Besoins mensuels en chaud d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Bch^{bât}$	Besoins annuels en chaud d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Bfr_m^{bât}$	Besoins mensuels en froid d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Bfr^{bât}$	Besoins annuels en froid d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Becl_m^{bât}$	Besoin mensuel en éclairage artificiel d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Becl^{bât}$	Besoin annuel en éclairage artificiel d'un bâtiment	kWh/m²SREF
$Bbio_m$	Besoin bioclimatique mensuel du bâtiment	kWh/m²SREF
$Bbio$	Besoin bioclimatique annuel du bâtiment	kWh/m²SREF
$Becs_m^{bat}$	Besoins mensuels bruts d'ECS du bâtiment	Wh/m²SREF
$Becs^{bat}$	Besoins annuels bruts d'ECS du bâtiment	Wh/m²SREF
$Ratio_{psi}$	Ratio de transmission linéique moyen global des ponts thermiques du bâtiment	W/m²SREF
$Ratio_{baies}$	Surface totale des baies d'un bâtiment, rapportée à sa surface habitable	m²/m²
	Pour le bâtiment	
	Energie finale mensuelle et annuelle	
	Energie primaire mensuelle et annuelle	
	Energie finale par énergie	
	Energie primaire par énergie	

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 13 : Nomenclature des différentes variables du modèle de bâtiment

5.1.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Le schéma de la figure ci-dessous présente l'organisation des composants pour l'ensemble d'un bâtiment pour le calcul de Cep et Cep,nr.

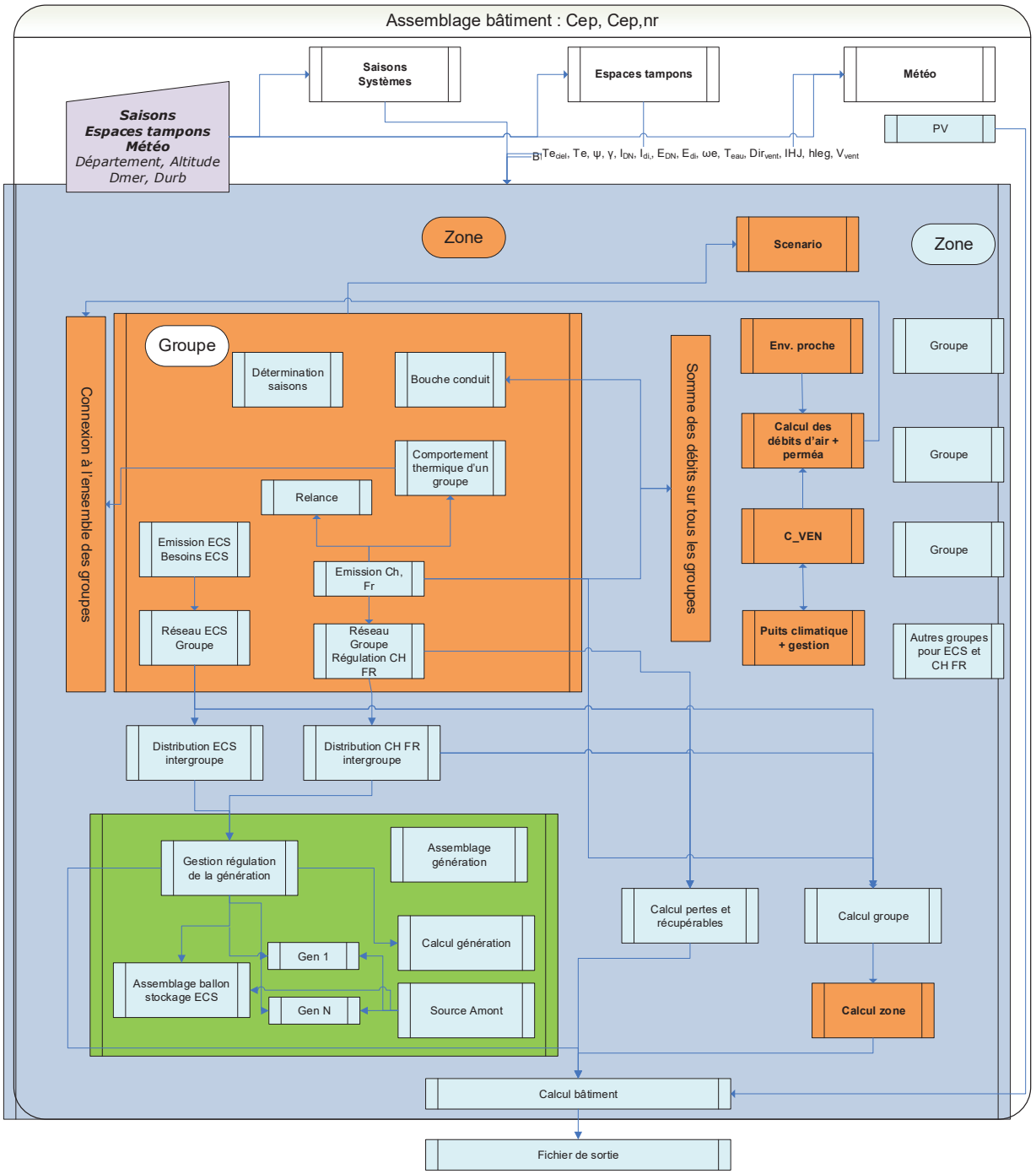


Figure 14 : Assemblage des composants d'un bâtiment

Le niveau ‘bâtiment’’ rassemble d’une part l’ensemble des zones, celles-ci correspondant à un regroupement des parties de bâtiment pour lesquelles les usages, donc les scénarios d'utilisation, sont identiques et d’autre part les composants qui concernent le bâtiment dans son ensemble :

- le climat extérieur,

- les espaces tampons : vérandas, serres…

- les saisons pour les systèmes,

Les saisons sont définies d’abord au niveau de chaque groupe, fiche ‘détermination des saisons’, en considérant les besoins propres à chaque groupe et ensuite harmonisées pour l’ensemble du bâtiment. L’information harmonisée est renvoyée aux groupes, notamment pour le fonctionnement de l’émission.

La fiche algorithme est organisée en trois parties :

- en haut à gauche, on trouve les paramètres d’intégration des différents composants ou des assemblages intervenant, entrés au niveau de l’interface utilisateurs, les paramètres intrinsèques étant définis dans les fiches algorithmes,

- dans la partie en couleur, on trouve l’organisation proprement dite des différents composants. Chaque composant est relié aux autres par des flèches symbolisant les échanges de données.

- dans la partie supérieure, on distingue les composants amont.

Le détail de chaque composant ou de chaque assemblage est au niveau de chaque fiche algorithme.

Pour la détermination du coefficient Bbio, les calculs sont conduits au niveau de chaque groupe, les résultats étant dirigés vers le module de ‘calcul groupe’ puis ‘calcul zone’ et enfin ‘calcul bâtiment’.

Le calcul du coefficient Cep fait appel à des composants supplémentaires :

- les systèmes aérauliques, pouvant être en relation avec un puits climatique selon les cas,

- les réseaux de distribution de chaleur et de froid,

- les réseaux de distribution d’ECS,

- la génération, constituée des différents générateurs de chaleur, de froid, de chaleur ou de froid, d’ECS, de chaleur et d’ECS ainsi que de leur gestion régulation. Il s’agit notamment d’organiser les priorités de fonctionnement.

L’enchaînement des calculs est le suivant :

‘Climat extérieur’

Les données météorologiques du pas de temps sont rendues disponibles.

‘Espaces tampons’

Les coefficients de réduction des déperditions thermiques, de réduction des flux solaires et de réduction de l’éclairement naturel dus à la présence de l’espace tampon sont déterminés.

‘Zones’

Les zones sont traitées comme présenté dans la fiche ‘assemblage zone’.

‘Groupes’

Les groupes sont traités comme présenté dans la fiche ‘assemblage groupe’.

‘PV_installation_PV :

La production d’énergie d’origine photovoltaïque est calculée.

‘Calculs bâtiment’

On effectue un post traitement des sorties du bâtiment : cumuls mensuels et annuels, Bbio, Cep.

5.2 S1-Bat-Assemblage des espaces tampons

5.2.1 NOMENCLATURE

Le Tableau 14 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Environnement extérieur	$h_{lég}(h)$	Heure légale au pas de temps h.	h
	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur, au pas de temps h.	°C
	$V_{vent}(h)$	Vitesse du vent au pas de temps h.	m/s
	γ, ψ, *Idr*, *Idi*	*Entrées de la fiche « Environnement proche ».*	-
Groupes en contact avec l'espace tampon	$i_{hergement}^{gr}$	Indicateur d'usage d'habitation et d'hébergement.	Bool
	$i_{occ}^{gr}(h)_{gr\subset et}$	Indices d'occupation des différents groupes *gr* en contact avec l'espace tampon au pas de temps h.	Ent
	$i_{occ}^{gr}(h\text{-}1)_{gr\subset et}$	Indices d'occupation des différents groupes *gr* en contact avec l'espace tampon au pas de temps h-1.	Ent
	$\theta_i^{gr}(h\text{-}1)_{gr\subset et}$	Températures de l'air intérieur, au temps h-1, des différents groupes connectés à l'espace tampon.	°C
	$Saison^{gr}(j)_{gr\subset et}$	Saison propre au groupe au jour *j*.	Ent.
Baies	$Hg_{es\_set}(h\text{-}1)^b$	Coefficient de transmission thermique global pour la baie vitrée b entre les environnements intérieurs et extérieurs, sans les espaces tampons.	W/K
Parois	$H_{TH\_set}^{k}$	Coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur, sans les espaces tampons.	W/K
PT	$H_{TH\_set}^{l}$	Coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur, sans les espaces tampons.	W/K

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
A_{et}	Surface au sol de l'espace tampon.	m²	0	+∞	-

	TRH_{et}	Taux de renouvellement d'air de base de l'espace tampon, hors surventilation par ouverture des baies.	vol/h	0	+∞	-
	$Httf_{et}$	Hauteur de tirage thermique en surventilation naturelle de l'espace tampon.	m	0	+∞	-
	$\{A_{ue}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des surfaces des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	m²	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Caractérisation de l'espace tampon	$i_{solarise}$	Indicateur entier : *0 : espace tampon non-solarisé,* *1 : espace tampon solarisé.*	ent	0	1	
	i_{surv}	Indicateur entier : *0 : espace tampon non-surventilé,* *1 : espace tampon avec surventilation naturelle.*	ent	0	1	1
	i_{prot}	Indicateur entier : *0 : espace tampon sans protections mobiles,* *1 : espace tampon avec protections mobiles,*	ent	0	1	
ET non-solarisé	b_{et_ns}	Coefficient b de réduction des déperditions de l'espace tampon non-solarisé, tel que défini dans les règles Th-Bat.	Réel	0	1	
ET solarisé	$C_{m\_et\_surf}$	Capacité thermique quotidienne de l'espace tampon par unité de surface au sol.	kJ/(m².K)	0	+∞	
	U_{et_pb}	Coefficient de déperdition thermique équivalent par le plancher bas de l'espace tampon.	W/(K.m²)	0	+∞	-
Parois extérieures de l'espace tampon solarisé	N	Nombre de parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	Entier	0	+∞	-
	$\{U_{ue}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des coefficients de transmission thermique U_{ue} des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	W/(K.m²)	0	+∞	-
	$\{a_{we}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des azimuts des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	° (ang)	0	360	-
	$\{\beta_{we}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs solaires des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	° (ang)	0	90	-
	$\{S_{we\_sp}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs solaires globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, sans protection mobile en place.	Réel	0	1	-

Surventilation de l'espace tampon	$\{S_{we\_ap}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs solaires globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, avec protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{T_{le\_sp}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs de transmission lumineux globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, sans protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{T_{le\_ap}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs de transmission lumineux globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, avec protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{R_{ouv\_max}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des ratios d'ouverture maximale des N parois de l'espace tampon.	Réel	0	1	-
	$Part_{ouv\_et\_inocc}$	Part des parois de l'espace tampon dont l'ouverture est possible à maintenir en inoccupation.	Réel	0	1	-
	θ_{et_ouv1}, θ_{et_ouv2}, θ_{et_fer1}, θ_{et_fer2}	Températures de consigne de l'espace tampon pour la surventilation naturelle.	°C	0	+∞	-
	$d\theta_{ext/et}$	Différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de l'espace tampon à respecter.	°C	0	+∞	-
	θ_{ext_seuil}	Température extérieure minimale à respecter.	°C	0	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Composants d'enveloppe et entrées d'air	$b_{therm}(h)$	Coefficient de réduction des déperditions thermiques dû à la présence de l'espace tampon.	-
	$b_{solaire}(h)$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon.	-
	$b_{ecl}(h)$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon (concerne uniquement les baies vitrées).	-
	$\theta_{et}(h)$	Température d'air dans l'espace tampon au pas de temps h.	°C

Tableau 14 : Nomenclature du modèle

5.2.2 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

L'assemblage des composants intervenant dans la modélisation des espaces tampons est le suivant :

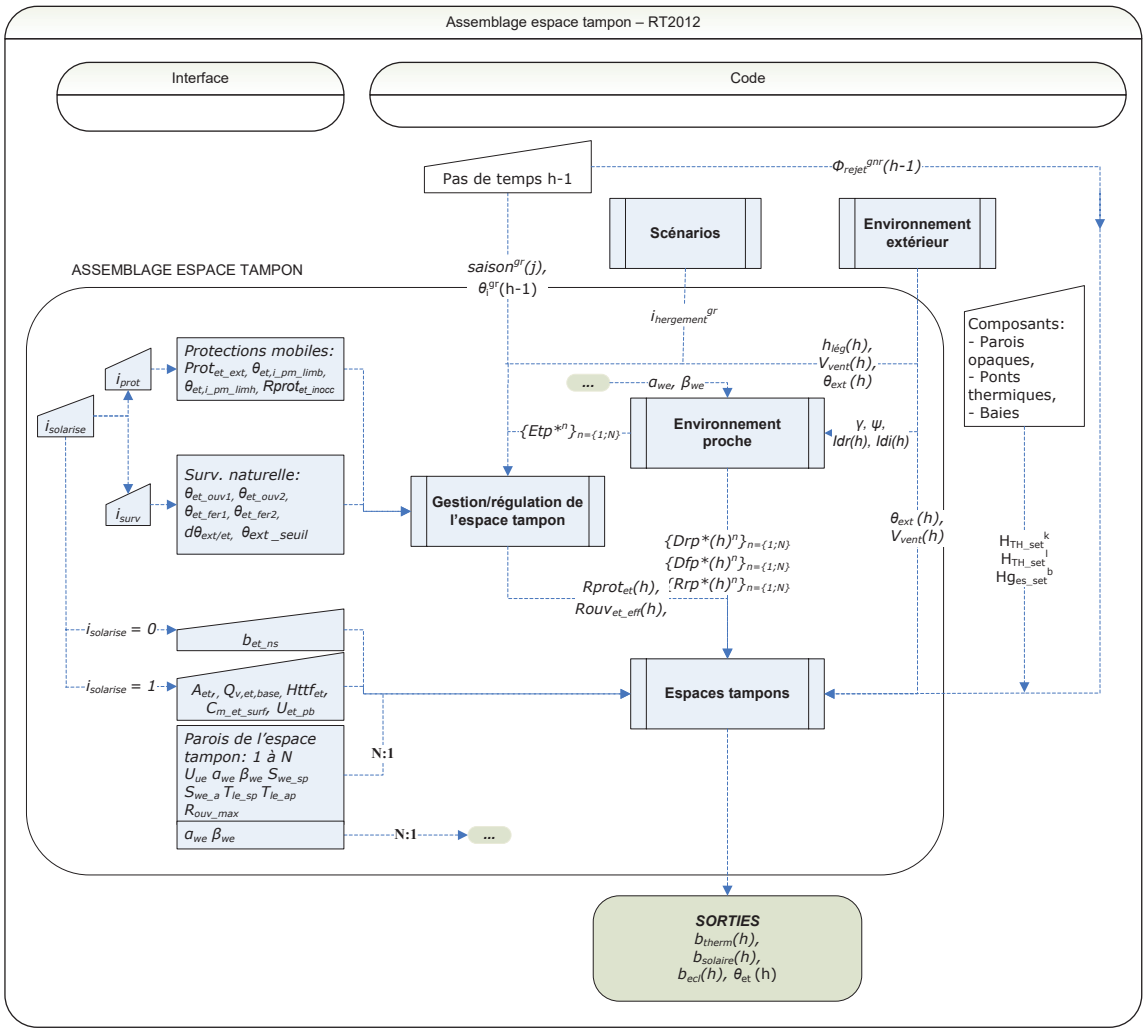


Figure 15: Assemblage des composants espaces tampons

L'assemblage fait appel à trois composants :

- **Environnement proche**, qui réalise les calculs d'éclairement et de flux solaires en fonction des orientations des parois et des masques de l'espace tampon. Ce composant est le même que pour les parois et baies définies au niveau du groupe.

- **Gestion/régulation de l'espace tampon**, qui détermine à chaque horaire quelle position des protections mobiles et quel ratio de surventilation naturelle sont appliqués, selon une modélisation conventionnelle du comportement des occupants. Ce composant n'est pas utilisé dans le cas d'un espace tampon non-solarisé.

- **Espace tampon**, qui simule de manière dynamique le comportement de l'espace tampon solarisé en prenant en compte les échanges thermiques, le renouvellement d'air, les apports solaires et l'inertie globale du composant. Les espaces non-solarisés sont pris en compte au travers du coefficient *b* défini dans les règles Th-Bat, éventuellement corrigé si l'espace tampon est utilisé pour une production d'ECS thermodynamique.

5.3 **Gestion/Régulation des espaces tampons solarisés**

5.3.1 INTRODUCTION

La gestion/régulation des espaces tampons d'intervient que dans le cas d'espaces tampons solarisés : véranda, serre, jardin d'hiver…

Elle définit de manière horaire les ratios de protections mobiles ainsi que ratios d'ouverture pour surventilation des parois extérieures vitrées de l'espace tampon. Cette régulation est soumise à certaines hypothèses, et se base sur la température d'air intérieure du local solarisé, sur la température d'air extérieur et sur la vitesse locale du vent. Elle varie en fonction de la saison.

5.3.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 15** donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Environnement extérieur	$h_{lég}(h)$	Heure légale au pas de temps h.	h
	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur, au temps h.	°C
	$V_{ventc}(h)$	Vitesse du vent au pas de temps h.	m/s
Saisons	$Aut_{ch,pro}^{gr}(j)_{gr\subset et}$	Autorisation de chauffer propre au groupe. La valeur 0 correspond à l'interdiction de chauffer.	Ent.
	$Aut_{fr,pro}^{gr}(j)_{gr\subset et}$	Autorisation de refroidir propre au groupe. La valeur 0 correspond à l'interdiction de refroidir.	Ent.
Scénarios	$i_{hergement}^{gr}$	Indicateur d'usage résidentiel ou hébergement. *0 : usage non-résidentiel et non-hébergement.* *1 : usage résidentiel ou hébergement.*	Bool
Groupes	$\theta_{op,fin}^{gr}(h\text{-}1)$	Température opérative intérieure des groupes *gr* reliés à l'espace tampon.	°C
Espace tampon	$\theta_{et}(h\text{-}1)$	Température d'air dans l'espace tampon au pas de temps h-1.	°C
	$\{Etp^{*n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des éclairements naturels totaux sur les parois extérieures vitrées de l'espace tampon.	Lux

Sorties

	Nom	Description	Unité
Espace tampon	$Rprot_{et}(h)$	Position (exprimée en ratio surfacique) des protections mobiles sur l'ensemble des parois vitrées protégées de l'espace tampon.	Réel
	$Rouv_{et\_eff}(h)$	Ratio surfacique d'ouverture des parois vitrées de l'espace tampon au temps h. La valeur 1 correspond à l'ouverture maximale qu'admet la baie.	Réel

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv

Protections de l'espace tampon	V_{ventc_lim}	Seuil de vitesse de vent limite pour lequel les protections extérieures sont remontées en gestion manuelle.	m/s	0	+∞	
	θ_{et,i_pm_limb}	Température limite basse pour l'abaissement des protections de l'espace tampon.	°C	0	+∞	
	θ_{et,i_pm_limh}	Température limite haute pour l'abaissement des protections de l'espace tampon.	°C	0	+∞	
	id_{prot}	Indicateur de protections mobiles en place. *0 : pas de protections mobiles,* *1 : présence de protections mobiles.*	Entier	0	1	
	$Prot_{et\_ext}$	Indicateur d'emplacement des protections mobiles des parois de l'espace tampon (extérieures ou intérieures). *0 : intérieures,* *1 : extérieures.*	Entier	0	1	
Surventilation de l'espace tampon	θ_{et_ouv1}, θ_{et_ouv2}, θ_{et_fer1}, θ_{et_fer2}	Températures de consigne de l'espace tampon pour la surventilation naturelle.	°C	0	+∞	Voir **Tableau 18**
	$d\theta_{ext/et\_ouv}$	Ecart de température avec l'extérieur maximal de surventilation naturelle.	°C	0	+∞	Voir **Tableau 17**
	$\theta_{ext\_seuil\_ouv}$	Température extérieure minimale de surventilation naturelle.	°C	0	+∞	Voir **Tableau 17**
	id_{surv}	Indicateur de surventilation naturelle possible de l'espace tampon. *0 : pas de possibilités de surventilation naturelle.* *1 : possibilités de surventilation naturelle via des parois manoeuvrables.* Conventionnellement fixé à 1.	Entier	0	1	1

Variables internes

Nom	Description	Unité
N	Nombre de parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	Entier
$Saison_{et}(h)$	Indicateur de saison au sens de l'espace tampon.	Entier
$\theta_{et\_regul}(h)$	Température de référence utilisée par la gestion de l'espace tampon.	°C
$\theta_{et\_regul}(h-1)$	Température de référence utilisée par la gestion de l'espace tampon, au pas de temps h-1.	°C
$Rprot_{et}(h-1)$	Position (exprimée en ratio surfacique) des protections mobiles sur l'ensemble des parois vitrées protégées de l'espace tampon.	Réel

$Rouv_{ep\_eff}(h-1)$	Ratio surfacique d'ouverture des parois vitrées de l'espace tampon au temps h. La valeur 1 correspond à l'ouverture maximale qu'admet la baie.	Réel
$Rouv_{et\_req}(h)$	Ratio surfacique requis d'ouverture des parois vitrées de l'espace tampon au temps h pour le rafraichissement naturel.	Réel
$Rouv_{et\_req}(h-1)$	Ratio surfacique requis d'ouverture des parois vitrées de l'espace tampon au temps h -1 pour le rafraichissement naturel.	Réel
$Aut_{ouv\_et}(h)$	Autorisation d'ouverture des parois de l'espace tampon en fonction de la température extérieure.	Réel
$i_{hergement\_et}$	Indicateur booléen prenant la valeur 1 si l'espace tampon est uniquement en contact de zones à usages résidentiels ou hébergements.	Bool
$i_{per\_sommeil}(h)$	Indicateur de période de sommeil.	Bool

Tableau 15 : Nomenclature du modèle

5.3.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.3.3.1 ***Précalculs dynamiques***

5.3.3.1.1 Saisons au sens de l'espace tampon solarisé

L'indicateur de saison au sens de l'espace tampon est déterminé à partir des indicateurs de saisons des différents groupes en contact avec lui.

Cet algorithme passe par des variables $Aut_{ch,pro}(h)$ et $Aut_{fr,pro}(h)$ pour chacun des groupes en contact avec l'espace tampon.

Si

$$\sum_{gr \subset et} Aut_{ch,pro}^{gr}(j) > 0 \; et \; \sum_{gr \subset et} Aut_{fr,pro}^{gr}(j) > 0$$

$Saison_{et}(j) = 4$, (saison mixte)

Sinon Si

$$\sum_{gr \subset et} Aut_{ch,pro}^{gr}(j) > 0$$

, alors $Saison_{et}(j) = 1$, (saison de chauffage) (96)

Sinon, si

$$\sum_{gr \subset et} Aut_{fr,pro}^{gr}(j) > 0$$

$Saison_{et}(j) = 3$, (saison de refroidissement)

Sinon,

$Saison_{et}(j) = 2$ (mi-saison)

Dans toute la suite de la fiche, l'information de saison utilisée est celle au niveau de l'espace tampon.

5.3.3.1.2 Indicateur $i_{hebergement\_et}$

L'indicateur $i_{hebergement\_et}$ ne prend la valeur 1 que si l'intégralité des groupes en contact avec l'espace tampon solarisé sont des locaux résidentiels ou d'hébergement. Dans ce cas, les algorithmes de gestion/régulation ne sont plus actifs en période nocturne de manière à tenir compte du sommeil des occupants.

$$i_{hebergement\_et} = MIN(i_{hebergement}^{gr}) \quad (97)$$

5.3.3.2 ***Température de référence pour la gestion de l'espace tampon***

Afin de prendre en compte à la fois le confort dans les locaux occupés et les éventuelles surchauffes dans l'espace tampon même, la température prise en compte dans les algorithmes de gestion de l'espace tampon est la suivante :

$$\theta_{et\_regul}(h) = MAX(\theta_{et}(h-1) \; ; \; MAX(i_{occ}^{gr}(h).\theta_{op,fin}^{gr}(h-1))_{gr \; lié \; à \; ET}) \quad (98)$$

Un temps de réaction des occupants d'une heure est pris en compte (valeurs de θ à h-1).

5.3.3.3 *Gestion/régulation des protections mobiles des parois vitrées de l'espace tampon*

En l'absence de protections mobiles, l'algorithme décrit ci-dessous n'est pas pris en compte, et on applique un ratio de protection nulle à l'ensemble des parois de l'espace tampon :

Si $id_{prot} = 0$, alors, $Rprot_{et}(h) = 0$ (99)

Dans le cas contraire ($id_{prot} = 1$), les protections mobiles prises en compte au niveau des espaces tampon sont conventionnellement de type stores enroulables intérieurs ou extérieurs, associées à un modèle de gestion simplifié. On considère de plus que ces protections sont légères et sans impact sur les coefficients de transmission thermique U_e des parois de l'espace tampon vers l'extérieur.

La gestion/régulation des protections mobiles de l'espace tampon repose sur la température de référence pour la gestion de l'espace tampon au travers du diagramme représenté en figure 1. Les températures de consigne sont définies de manière conventionnelle en fonction de la saison.

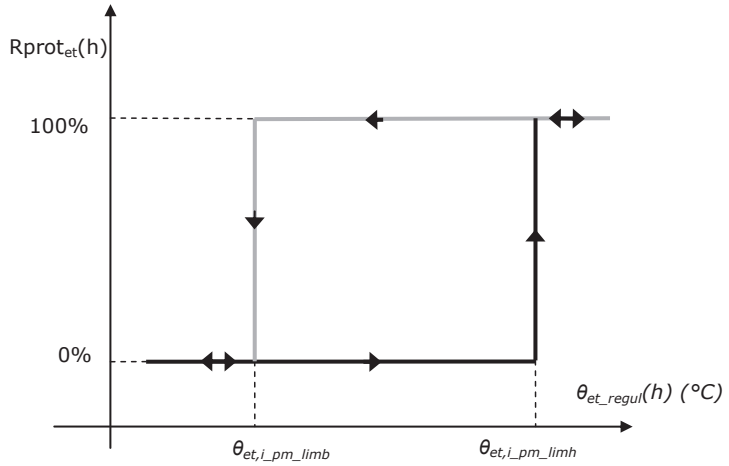


Figure 16: diagramme du ratio de protections mobiles en fonction de la température au sein de l'espace tampon

	Saison de chauffage	Saison mixte ou mi-saison	Saison de refroidissement
θ_{et,i_pm_limb}	*28°C*	*26°*	*24°C*
θ_{et,i_pm_limh}	*30°C*	*28°C*	*26°C*

Tableau 16: Valeur des températures de consigne pour la gestion des protections mobiles de l'espace tampon solarisé

La vitesse de vent est également prise en compte pour les protections mobiles extérieures.

L'algorithme est donc le suivant :

Si $\sum_{n=1}^{N} Etp^{*n} > 0$, alors, *(période où l'espace tampon reçoit de l'éclairement)*

Si $Prot_{et\_ext} = 0$ ou $Vent_c(h) \leq Vent_{c\_lim}$, alors, *(protections intérieures ou vitesse de vent inférieure à la limite de blocage des protections)*

$$\begin{cases} \text{Si } \theta_{et\_regul}(h) \leq \theta_{et,i\_pm\_limb}, \text{ alors,} \\ \quad Rprot_{et}(h) = 0 \\ \text{Sinon, si } \theta_{et\_regul}(h) \geq \theta_{et,i\_pm\_limh}, \\ \quad Rprot_{et}(h) = 1 \\ \text{Sinon,} \\ \quad Rprot_{et}(h) = Rprot_{et}(h-1) \end{cases} \quad (100)$$

Sinon, (protections extérieures et vitesse de vent supérieure à la limite de blocage des protections)

$$\begin{cases} Rprot_{et}(h) = 0 \end{cases}$$

Sinon, (période où l'espace tampon ne reçoit pas d'éclairement)

$Rprot_{et}(h) = 0$

5.3.3.4 *Surventilation de l'espace tampon solarisé*

On considère conventionnellement que l'espace tampon solarisé peut être surventilé par ouverture de ses parois.

$$id_{surv} = 1 \quad (101)$$

5.3.3.4.1 Autorisation de surventilation de l'espace tampon solarisé

La gestion de la surventilation naturelle repose sur une autorisation en fonction de la température extérieure. L'hypothèse retenue est celle d'un mode de gestion manuel par les occupants.

L'algorithme est donc le suivant :

Si $\theta_{ext\_seuil\_ouv} \leq \theta_{ext}(h)$ et $\theta_{ext}(h) \leq \theta_{et\_regul}(h) - d\theta_{ext/et\_ouv}$, alors,

$Aut_{ouv\_et}(h) = 1$

Sinon, (102)

$Aut_{ouv\_et}(h) = 0$

Les valeurs de consigne sont conventionnelles en surventilation naturelle, pour correspondre à un mode de gestion par les occupants (

Tableau 17).

		Saison de chauffage	Saison mixte ou mi-saison	Saison de refroidissement
Surventilation naturelle	$d\theta_{ext/et\_ouv}$	-6°C	-6°C	-6°C
	$\theta_{ext\_seuil\_ouv}$	12°C	10°C	8°C

Tableau 17: Paramètres conventionnels d'autorisation de surventilation naturelle de l'espace tampon solarisé

5.3.3.4.2 Algorithme de gestion de la surventilation naturelle

Le rafraichissement de l'espace tampon peut être effectué par surventilation naturelle, via l'ouverture des parois extérieures. L'hypothèse retenue est celle d'une gestion manuelle. Les occupants du bâtiment gèrent le ratio d'ouverture afin d'éviter une température trop élevée au sein de l'espace tampon. L'exposition au bruit de celui-ci n'est pas prise en compte, dans la mesure où elle intervient déjà au niveau des baies du bâtiment.

L'algorithme de gestion repose sur un diagramme à hystérésis tel que décrit ci-dessous :

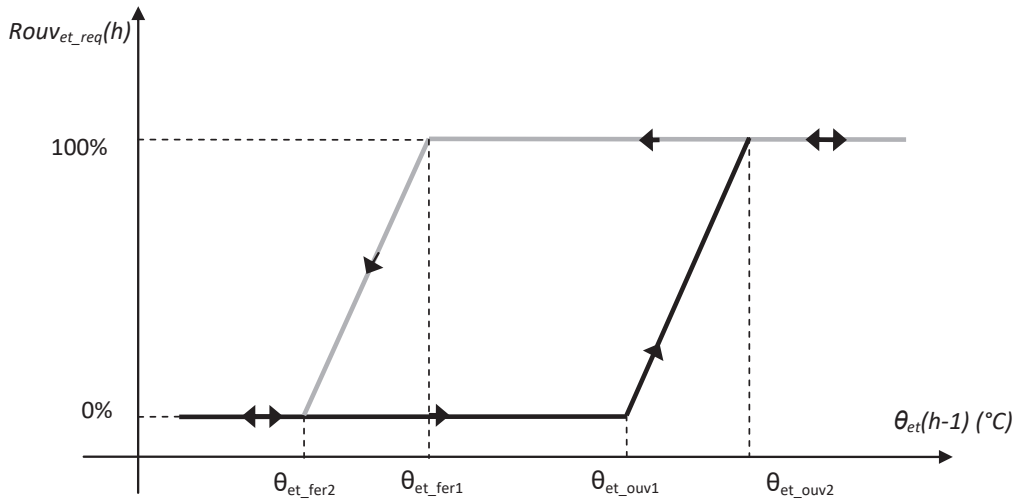


Figure 17: Diagramme des valeurs de $Rouv_{et\_req}$ en fonction de la température de l'espace tampon

Les valeurs de consigne utilisées en fonction de la saison au sens de l'espace tampon sont les suivantes :

	Saison de chauffage	Mi-saison ou saison mixte	Saison de refroidissement
θ_{et_ouv1}	29°C	27°C	25°C
θ_{et_ouv2}	30°C	28°C	26°C
θ_{et_fer1}	27°C	25°C	23°C
θ_{et_fer2}	26°C	24°C	22°C

Tableau 18: Paramètres conventionnels de consigne pour la gestion de la surventilation naturelle de l'espace tampon

5.3.3.4.3 Période de sommeil nocturne en résidentiel et hébergement

Dans les groupes à usage résidentiel ou d'hébergement, les occupants sont conventionnellement en période de sommeil entre 22h et 7 h heure légale.

Si $i_{hergement\_et} = 1$ et $(h_{leg}(h) > 22$ *ou* $h_{leg}(h) < 7)$, alors,

$$i_{per\_sommeil}(h) = 1 \quad (103)$$

Sinon,

$$i_{per\_sommeil}(h) = 0$$

5.3.3.4.4 Ratio de surventilation requis en fonction de la température dans l'espace tampon solarisé

L'algorithme de gestion/régulation en fonction de la température de l'espace tampon intervient en période d'occupation ou d'inoccupation des locaux.

Si $\theta_{et\_regul}(h) \leq \theta_{et\_fer2}$, alors,

$Rouv_{et\_req}(h) = 0$

Sinon, si $\theta_{et\_regul}(h) \geq \theta_{et\_ouv2}$, *alors,*

$Rouv_{et\_req}(h) = 1$

Sinon,

Si $\theta_{et\_regul}(h\text{-}1) \leq \theta_{et\_regul}(h)$ (augmentation de température dans l'espace solarisé), *alors,*

Si $\theta_{et\_regul}(h) \leq \theta_{et\_ouv1}$,

$Rouv_{et\_req}(h) = Rouv_{et\_req}(h\text{-}1)$

Sinon, (cas : $\theta_{et\_ouv1} < \theta_{et\_regul}(h) < \theta_{et\_ouv2}$)

$$Rouv_{et\_req}(h) = max\left(\frac{\theta_{et\_regul}(h) - \theta_{et\_ouv1}}{\theta_{et\_ouv2} - \theta_{et\_ouv1}}; Rouv_{et\_req}(h-1)\right) \quad (104)$$

Sinon, (diminution de température dans l'espace solarisé)

Si $\theta_{et\_regul}(h) \geq \theta_{et\_fer1}$,

$Rouv_{et\_req}(h) = 0.5$

Sinon,

$Rouv_{et\_req}(h) = Rouv_{et\_req}(h\text{-}1)$

Sinon, (cas : $\theta_{et\_fer1} > \theta_{et\_regul}(h) > \theta_{et\_fer2}$)

$$Rouv_{et\_req}(h) = min\left(\frac{\theta_{et\_regul}(h) - \theta_{et\_fer2}}{\theta_{et\_fer1} - \theta_{et\_fer2}}; Rouv_{et\_req}(h-1)\right)$$

5.3.3.4.5 Ratio de surventilation naturelle effectif

En occupation, l'état de la surventilation évolue heure par heure en fonction des températures sur lesquelles la régulation est faite. De nuit en résidentiel/hébergement, le dernier état d'ouverture en occupation est conservée pour la part $Part_{ouv\_et\_inocc}$ des parois de l'espace tampon. Le reste des parois est refermé.

Si $i_{per\_sommeil}(h) = 1$ (en période de sommeil), alors,

$Rouv_{et\_eff}(h) = Rouv_{et\_req}(h\text{-}1)$ (105)

Sinon, (hors périodre de sommeil)

$Rouv_{et\_eff}(h) = Aut_{ouv\_et}(h) \cdot Rouv_{et\_req}(h)$

5.4 Espaces tampons

5.4.1 INTRODUCTION

Les espaces tampons regroupent l'ensemble des locaux non-chauffés (ou chauffés à une température de consigne moins de 12°C) en contact avec l'enveloppe d'un ou plusieurs locaux chauffés.

On opère une distinction entre espaces tampons :

- **Solarisés** : il s'agit de l'ensemble des espaces tampons dont l'essentiel de la surface d'enveloppe en contact avec l'air extérieur (hors plancher) est constitué de baies vitrées. En pratique, il s'agit des vérandas, serres, atriums, ou encore des jardins d'hiver.

- **Non-solarisés** : cette catégorie englobe le reste des espaces tampons, c'est-à-dire ceux dans l'enveloppe en contact avec l'air extérieur est constitué de parois opaques. Il s'agit entre autres de la majorité des combles, garages, celliers non-chauffés, parkings privés,circulations hors volume chauffé, ou chaufferies.

Un espace tampon est défini au niveau du bâtiment, et doit nécessairement être associé à au moins un composant d'enveloppe (paroi opaque, baie) d'un groupe.

Un espace tampon est caractérisé par trois coefficients de réduction $b_{therm,i}(h)$, $b_{solaire,i}(h)$ et $b_{ecl,i}(h)$, déterminés de manière dynamique.
Ces coefficients de réduction sont ensuite appliqués à chaque baie, paroi opaque et pont thermique situés à l'interface entre le volume chauffé et le volume de l'espace tampon.

5.4.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 19 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.
Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Uni
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur, au temps h.	°C
	$V_{ventc}(h)$	Vitesse du vent au pas de temps h.	m/s
Environnement proche	$\{Drp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des rayonnements directs incidents pour les différentes parois extérieures de l'espace tampon.	W/m²
	$\{Dfp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des rayonnements diffus incidents pour les différentes parois extérieures de l'espace tampon.	W/m²
	$\{Rrp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des rayonnements réfléchis incidents pour les différentes parois extérieures de l'espace tampon.	W/m²
Groupes	$\theta_{i,\,fin}^{gr}(h\text{-}1)_{gr\subset et}$	Températures de l'air intérieur, au temps h-1, des différents groupes connectés à l'espace tampon. Valeur initiale=19°C	°C
Baies	$Hg_{es\_set}^{b}$	Coefficient de transmission thermique global pour la baie vitrée b entre les environnements intérieurs et extérieurs, sans les espaces tampons.	W/K
Parois	$H_{TH\_set}^{k}$	Coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur, sans les espaces tampons.	W/K
PT	$H_{TH\_set}^{l}$	Coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur, sans les espaces tampons.	W/K
Génér.	$\Phi_{rejet}^{gnr}(h\text{-}1)$	Rejets froids des générateurs thermodynamiques d'ECS utilisant l'air de l'espace tampon comme source amont (évaporateur). Valeur initiale= OW	W
Gestion/régulation	$Rprot_{et}(h)$	Position (exprimée en ratio surfacique) des protections mobiles sur l'ensemble des parois vitrées protégées de l'espace tampon.	Réel
	$Rouv_{et\_eff}(h)$	Ratio surfacique d'ouverture des parois vitrées de l'espace tampon au temps h. La valeur 1 correspond à l'ouverture maximale qu'admet la baie.	Réel
	$\theta_{et}(h\text{-}1)$	Température d'air dans l'espace tampon au pas de temps h-1. Valeur initiale=10°C	°C

Sorties

	Nom	Description	Uni
Composants d'enveloppe et entrées d'air	$b_{therm}(h)$	Coefficient de réduction des déperditions thermiques dû à la présence de l'espace tampon.	-
	$b_{solaire}(h)$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon.	-
	$b_{ecl}(h)$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon (concerne uniquement les baies vitrées).	-
	θ_{et} (h)	Température d'air dans l'espace tampon au pas de temps h.	°C

Paramètres d'intégration

	Nom	Description	Uni	Min	Max	Conv.
Espace tampon	$\{A_{ue}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des surfaces des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	m²	0	+∞	-
	A_{et}	Surface au sol de l'espace tampon.	m²	0	+∞	-
	$Q_{v,et,base}$	Débit d'air de base de l'espace tampon, hors surventilation, associé aux défauts d'étanchéité et éventuelles entrées d'air.	m^3/h	0	+∞	
	$Httf_{et}$	Hauteur de tirage thermique en surventilation naturelle de l'espace tampon.	m	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	$i_{solarise}$	Indicateur booléen : *0 : espace tampon non-solarisé,* *1 : espace tampon solarisé.*	bool	0	1	
ET non-solarisé	b_{et_ns}	Coefficient b de réduction des déperditions de l'espace tampon non-solarisé, tel que défini dans les règles Th-Bat.	Réel	-5	1	
ET solarisé	$C_{m\_et\_surf}$	Capacité thermique quotidienne de l'espace tampon par unité de surface au sol.	kJ/(m².K)	0	+∞	200
	U_{et_pb}	Coefficient de déperdition thermique équivalent par le plancher bas de l'espace tampon.	W/(K.m²)	0	+∞	-

Parois extérieures de l'espace tampon solarisé	N	Nombre de parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	Entier	0	+∞	-
	$\{U_{ue}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des coefficients de transmission thermique U_{ue} des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur.	W/(K.m²)	0	+∞	-
	$\{S_{we\_sp}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs solaires globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, sans protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{S_{we\_ap}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs solaires globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, avec protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{T_{le\_sp}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs de transmission lumineux globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, sans protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{T_{le\_ap}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des facteurs de transmission lumineux globaux des N parois de l'espace tampon donnant sur l'extérieur, avec protection mobile en place.	Réel	0	1	-
	$\{R_{ouv\_max}{}^{n}\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des ratios d'ouverture maximale des N parois de l'espace tampon.	Réel	0	1	-

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Bilan des débits d'air de l'espace tampon	$H_{et\_th\_ext}$	Coefficient de transmission thermique global de l'espace tampon vers l'extérieur.	W/K
	$H_{et\_th\_int}{}^{gr}{}_{gr\subset et}$	Coefficients de transmission thermique global de l'espace tampon vers les différents groupes *gr*.	W/K
	$H_{et\_th\_int\_eq}$	Coefficient d'échange thermique avec le volume chauffé équivalent.	W/°C
	$\theta_{i\_eq}(h)$	Températures de l'air intérieur vue par l'espace tampon au pas de temps h.	°C
	$Q_{v\_et\_ent}$(h)	Débit volumique total entrant dans l'espace tampon au pas de temps h (venant de l'extérieur).	m^3/h
	$A_{ouv\_et}(h)$	Surface d'ouverture des parois de l'espace tampon.	m²

$Q_{v\_surv\_ouv}(h)$	Débit de surventilation par ouverture des parois de l'espace tampon.	m^3/h
$F_{s\_et}(h)$	Flux de chaleur total transmis au travers des parois extérieures à l'espace tampon.	W
C_{m_et}	Capacité thermique de l'espace tampon, exprimée en Wh/°C.	°C
$\{Isr^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}}$	Vecteur des rayonnements solaires globaux atteignant les différentes parois extérieures de l'espace tampon.	W/m²
$\Phi_{et}(h)$	Somme des flux d'échanges thermiques de l'espace tampon avec l'extérieur et le volume chauffé.	W
$H_{et}(h)$	Somme des coefficients d'échange thermiques de l'espace tampon avec l'extérieur et le volume chauffé.	W/°C
$\Phi_{rejet}(h)$	Puissance totale des générateurs thermodynamiques d'ECS utilisant l'air de l'espace tampon comme source amont (évaporateur).	W
$C_{corr\_th}(h)$	Coefficient de correction dynamique utilisé pour prendre en compte les puissances d'évaporateurs dans les espaces tampons non-solarisés.	W

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$\eta_{app\_sol\_et}$	Rendement de récupération des apports solaires par l'espace tampon solarisé.	Réel	0.8
η_{att_Sw}	Facteur correctif d'atténuation utilisé dans le calcul de $b_{solaire}$.	Réel	0.9
η_{att_Tl}	Facteur correctif d'atténuation utilisé dans le calcul de b_{ecl}.	Réel	0.9
C_{v_air}	Capacité thermique volumique de l'air dans les conditions standards de l'atmosphère.	$Wh/m^3/K$	0.34
K_{kJ_Wh}	Coefficient de passage du kJ au Wh.	Wh/kJ	1/3.6
Cw	Constante de prise en compte de la vitesse du vent dans les débits par les ouvertures.	-	0.001
Cst	Constante de prise en compte des effets de tirage thermique dans les débits par les ouvertures.	$m/(°C.s^2)$	0.035

Tableau 19 : Nomenclature du modèle

5.4.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.4.3.1 ***Coefficient d'échange avec le volume chauffé et température intérieure équivalents***

Le coefficient de transmission thermique global d'un groupe *gr* vers l'espace tampon est calculé de la manière suivante:

$$H^{gr}_{et\_th\_int}(h) = \sum_{\substack{b\in et \\ b\in gr}} Hg^{b}_{es\_set}(h) + \sum_{\substack{k\in et \\ k\in gr}} H^{k}_{th\_set}(h) + \sum_{\substack{l\in et \\ l\in gr}} H^{l}_{th\_set}(h) \qquad (106)$$

Le coefficient de transmission thermique global équivalent vers le volume chauffé est le total des coefficients de l'ensemble des groupes en contact avec l'espace tampon :

$$H_{et\_th\_int\_eq}(h) = \sum_{gr\Leftrightarrow et} H^{gr}_{et\_th\_int}(h) \qquad (107)$$

Les deux calculs précédents sont réalisés en début de simulation.

La température d'air intérieure équivalente vue par l'espace tampon est calculée de manière dynamique en fonction des températures des différents groupes en contact :

$$\theta_{i\_eq}(h) = \frac{\sum_{gr\Leftrightarrow et}(H_{et_{th_{int_{eq}}}}(h).\theta^{gr}_{i,fin}(h-1))}{H_{et\_th\_int\_eq}(h)} \qquad (108)$$

5.4.3.2 *Cas des espaces tampons non-solarisés*

5.4.3.2.1 Utilisation de l'espace tampon pour les générateurs thermodynamiques d'ECS

Certains systèmes de production d'ECS thermodynamique utilisent l'air des espaces tampons en tant que source amont (évaporateur). Conventionnellement, on considère que ce type de système ne peut pas être utilisé sur des espaces tampons solarisés.

De manière à tenir compte de l'impact de cet échange, on détermine pour chaque pas de temps la somme des puissances des évaporateurs :

$$\Phi_{rejet}(h) = \sum_{gnr \Leftrightarrow et} {\Phi_{rejet}}^{gnr}(h-1) \quad (109)$$

5.4.3.2.2 Coefficient de correction

Les espaces tampons non-solarisés sont caractérisés par des coefficients de réduction des déperditions constants, et coefficients de réduction des flux solaires et de l'éclairement nuls au cours de la simulation. Le coefficient de réduction des déperditions doit faire l'objet d'un calcul préalable selon les règles Th-Bat. Il subit une correction en fonction de $\phi_{rejet}(h)$.

Si $\phi_{rejet}(h) = 0$,

$$C_{corr\_therm}(h) = 1$$

Sinon, (110)

$$C_{corr\_therm}(h) = \frac{\theta_{i\_eq}(h) - \theta_{ext}(h) - \frac{1 - b_{et\_ns}}{b_{et\_ns}} \frac{\Phi_{rejet}(h)}{H_{et\_th\_int\_eq}(h)}}{\theta_{i\_eq}(h) - \theta_{ext}(h)}$$

Le calcul des différents coefficients de réduction est le suivant :

$$b_{therm}(h) = b_{et\_ns}.C_{corr\_therm}(h) \quad (111)$$

$$b_{solaire}(h) = 0 \quad (112)$$

$$b_{ecl}(h) = 0 \quad (113)$$

On en déduit la température d'air au sein de l'espace tampon :

$$\theta_{et}(h) = b_{therm}(h).\theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)).\theta_{i\_eq}(h) \quad (114)$$

5.4.3.3 *Cas des espaces tampons solarisés*

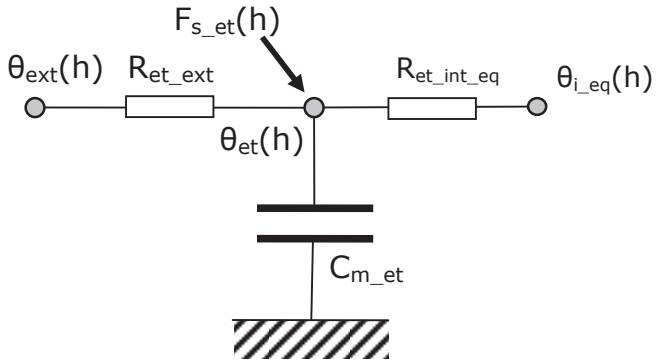
Les espaces tampons solarisés font l'objet d'une modélisation dynamique simplifiée prenant en compte les échanges thermiques par les parois extérieures et intérieures, les débits d'air entrants et les apports solaires par les parois de l'espace tampon.

L'objectif est le calcul de la température d'air d'équilibre horaire dans l'espace tampon, de manière à déterminer la valeur du coefficient de réduction $b_{therm,i}(h)$.

5.4.3.3.1 Coefficient de réduction des échanges thermiques

Le calcul du coefficient de réduction des pertes thermiques $b_{therm,i}(h)$ passe par le calcul de la température d'air à l'intérieur de l'espace tampon solarisé.

On adopte la modélisation simplifiée réseau RC suivante du comportement thermique de l'espace tampon.



Les « résistances » du réseau englobent les phénomènes d'échange thermique par conduction au travers des parois, les phénomènes de convection/rayonnement, et les échanges aérauliques (renouvellement d'air).

5.4.3.3.1.1 Coefficients de transmissions thermiques avec l'extérieur

L'espace tampon est en contact avec l'extérieur au travers de ses parois externes, et avec le volume chauffé au travers de ses baies, parois opaques et ponts thermiques.

Le coefficient de transmission thermique global par les parois de l'espace tampons est constant au cours de la simulation. Par soucis de simplification, les ponts thermiques de l'enveloppe de l'espace tampon vers l'extérieur ne sont pas pris en compte.

$$H_{et\_th\_ext} = \sum_{n=1}^{N} (A_{ue}^{n} . U_{ue}^{n}) + U_{et\_pb} . A_{et} \qquad (115)$$

5.4.3.3.1.2 Capacité thermique de l'espace tampon

La capacité thermique de l'espace tampon s'exprime en Wh/°C :

$$C_{m\_et} = C_{m\_et\_surf} . A_{et} . K_{kJ\_Wh} \qquad (116)$$

5.4.3.3.1.3 Calcul des apports solaires de l'espace tampon

Le vecteur des rayonnements solaires globaux sur les N parois extérieures de l'espace tampon se calcule par sommation des vecteurs des différents termes :

$$\{Isr^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}} = \{Drp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}} + \{Dfp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}} + \{Rrp^*(h)^n\}_{n=\{1;N\}} \quad (117)$$

Le flux de chaleur total transmis à l'espace tampon est obtenu par produits des rayonnements globaux, des surfaces et des facteurs solaires des parois extérieures. Les éventuelles mises en place des protections mobiles sont prises en compte au travers d'un facteur solaire spécifique.

$$\{S_{we}^n\}_{n=[1;N]} = Rprot_{et}(h).\{S_{we\_ap}^n\}_{n=[1;N]} + (1 - Rprot_{et}(h)).\{S_{we\_sp}^n\}_{n=[1;N]} \quad (118)$$

$$Fs_{et}(\square) = \eta_{app\_sol\_et} \times \sum_{n=1}^{N} (S_{we}^n \times A_{ue}^n \times Isr^{*n}(\square)) \quad (119)$$

On introduit également un rendement de récupération des apports solaires $\eta_{app\_sol\_et}$ de 80% pour tenir compte des défauts de transmissions et d'absorption des apports solaires de l'espace tampon, ainsi que de la part transmise directement au volume chauffé.

5.4.3.3.1.4 Calcul des débits entrants dans l'espace tampon

Le bilan des échanges aérauliques entre l'espace tampon, l'extérieur et l'intérieur du bâtiment sont modélisés de manière simplifiée. On intègre à ce bilan :

- Le débit de surventilation naturelle par ouverture des parois extérieures de l'espace tampon :

$$Aouv_{et}(h) = Rouv_{et\_eff} \times \sum_{n=1}^{N} Rouv\_max^n \times A_{ue}^n \quad (120)$$

$$Q_{v\_surv\_ouv}(h) = 1800.Aouv_{et}(h) \times [Cw.V_{vent_c}(h)^2 + Cst \times Htf_{et} \times ABS(\theta_{ext}(h) - \theta_{et}(h-1))]^{0.5} \quad (121)$$

Remarque : l'hypothèse retenue pour la circulation d'air est celle d'un espace tampon sur une façade et ne profitant pas des circulations d'air traversantes dans le bâtiment.

- Un débit associé aux infiltrations d'air par les défauts d'étanchéité et les entrées d'air de l'espace tampon $Q_{v\_et\_base}$. Par défaut, on retiendra 1.0 m^3/h par m^2 de surface au sol de l'espace tampon.

Au final, le débit total au pas de temps h est le suivant :

$$Q_{v\_et\_ent}(h) = Q_{v\_et\_base} + Q_{v\_surv\_ouv}(h) \quad (122)$$

5.4.3.3.1.5 Bilan thermique de l'espace tampon

La somme des flux thermiques de l'espace tampon est la suivante (en W) :

$$\Phi_{et}(h) = F_{s\_et}(h) + \left(H_{et\_th\_ext} + 0.34.Q_{v\_et\_ent}(h)\right).\theta_{ext}(h) + H_{et\_th\_int\_eq}(h).\theta_{i\_eq}(h) \quad (123)$$

La somme des coefficients d'échange thermique est la suivante (en W/°C):

$$H_{et}(h) = H_{et\_th\_ext} + 0.34.Q_{v\_et\_ent}(h) + H_{et\_th\_int\_eq} \quad (124)$$

On en déduit la température d'air au sein de l'espace tampon :

$$\theta_{et}(h) = \frac{\phi_{et}(h)}{H_{et}(h)} - \left(\frac{\phi_{et}(h)}{H_{et}(h)} - \theta_{et}(h-1)\right).e^{-\frac{H_{et}(h)}{C_{m\_et}}} \quad (125)$$

5.4.3.3.1.6 Calcul du coefficient de réduction thermique b_{therm}

Au final, le coefficient b_{therm} prend la valeur suivante, pouvant être négative, ou positive et inférieure à 1.

$$b_{therm}(h) = MIN(1; \frac{\theta_{i\_eq}(h) - \theta_{et}(h)}{\theta_{i\_eq}(h) - \theta_{ext}(h)}) \quad (126)$$

Si $b_{therm}(h) < -15$, alors, $b_{therm}(h) = -15$

Note : de même, on limite la valeur du b_{therm} à -15 pour des raisons de robustesse du la modélisation du comportement thermique du groupe.

5.4.3.3.2 Coefficients de réduction des apports solaires et des apports lumineux

Les parois extérieures de l'espace tampon agissent comment des filtres du rayonnement solaire et de l'éclairement en provenance de l'extérieur. Cet effet de filtre est modélisé au travers du coefficient $b_{solaire}$ et b_{ecl} qui évoluent de manière dynamique en fonction de l'état des protections mobiles.

$$b_{solaire}(h) = \eta_{att\_Sw} \frac{\sum_{n=1}^{N} S_{we}^{n}.A_{ue}^{n}}{\sum_{n=1}^{N} A_{ue}^{n}} \quad (127)$$

$$\{T_{le}^{n}\}_{n=[1;N]} = Rprot_{et}(h).\{T_{le\_ap}^{n}\}_{n=[1;N]} + (1 - Rprot_{et}(h)).\{T_{le\_sp}^{n}\}_{n=[1;N]} \quad (128)$$

$$b_{ecl}(h) = \eta_{att\_Tl} \frac{\sum_{n=1}^{N} T_{le}^{n}.A_{ue}^{n}}{\sum_{n=1}^{N} A_{ue}^{n}} \quad (129)$$

5.5 S2_BAT-assemblage_zone

5.5.1 INTRODUCTION

Le niveau zone correspond à un regroupement des parties de bâtiment pour lesquelles les usages donc les scénarios d'utilisation sont identiques.

Conventionnellement, tous les locaux d'une zone sont considérés comme étant en connexion aéraulique. L'impact des défauts d'étanchéité est donc calculé à la frontière d'une zone.

La zone est aussi le niveau auquel sont définies les valeurs de consignes (Températures de consigne en chauffage et en refroidissement)

La zone est composée de un ou plusieurs groupes. Les besoins en refroidissement et en chauffage sont calculés à leur niveau.

5.5.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 20 donne la nomenclature des différentes variables du modèle en indiquant les modèles élémentaires concernés.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
		Données météorologiques	
	I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
	Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
	ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
	γ	Hauteur du soleil	rd
	E_{Dn}	Eclairement naturel direct normal	Lux
	Edi	Eclairement naturel diffus horizontal	Lux
	Te_{ciel}	Température du ciel	°C
	Te	Température extérieure d'air sec	°C
	we	Poids d'eau	kg/kgas
	Teau	Température de l'eau froide	°C
	Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s
	Dir_{vent}	Direction du vent	°
	IHJ	heure de la journée (1 à 24)	-
	h	Pas de temps horaire.	h
	j	Numéro du jour de simulation.	j
		Choix des saisons	
saison	$Saison_{eff}^{gr}(j)$	La saison effective à appliquer au groupe au jour j, sous forme d'entier : 1: saison de refroidissement ; 2: mi-saison ; 3: saison de chauffe avec interdiction de refroidir ; 4 : saison de chauffe avec autorisation de refroidir.	Ent.
		Espaces tampons	
baies	$\{nb\_esp\_tp^b\}_i$	Nombres d'espaces tampons différents reliés aux baies d'indice b reliées à l'espace tampon i.	-
	$\{Aouv\,max\_tp_i^b(h)\}_{b\in i}$	Surfaces maximales d'ouverture des parois de l'espace tampon attribuées aux différentes baies reliées à l'espace tampon i (au prorata de leurs surfaces d'ouverture respectives).	m²
Tout composant	$b_{therm,i}(h)$	Coefficient de réduction des déperditions thermiques dû à la présence de l'espace tampon *i*.	-
	$b_{solaire,i}(h)$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon i.	-
	$b_{ecl,i}(h)$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon i (concerne uniquement les baies vitrées).	-

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta_{i\_fin}^{hall}$	Température du hall à la fin du pas de temps	°C
ω_{fin}^{hall}	Humidité relative du hall à la fin du pas de temps	kg/kg
Bch_m^z	Besoins mensuels en chaud d'une zone	kWh/m²SREF
Bch^z	Besoins annuels en chaud d'une zone	kWh/m²SREF
Bfr_m^z	Besoins mensuels en froid d'une zone	kWh/m²SREF
Bfr^z	Besoins annuels en froid d'une zone	kWh/m²SREF
$Becl_m^z$	Besoin mensuel en éclairage artificiel d'une zone	kWh/m²SREF
$Becl^z$	Besoin annuel en éclairage artificiel d'une zone	kWh/m²SREF
$Bbio_m^z$	Besoin bioclimatique mensuel de la zone	points
$Bbio^z$	Besoin bioclimatique annuel de la zone	points
$SREF^{zn}$	Surface de référence de la zone	m²
	Pour la zone	
	surfaces des parois	
	transmission thermique	
	énergie finale mensuelle et annuelle	
	énergie primaire mensuelle et annuelle	
	énergie primaire par énergie	

Variables internes

Nom	Description	Unité

Tableau 20 : Nomenclature des différentes variables du modèle de zone

5.5.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Les schémas des figures ci-dessous présentent l'organisation des composants pour l'ensemble d'une zone:

- la Figure 18 dans le cas du calcul Bbio,
- la Figure 19 dans le cas du calcul Cep.

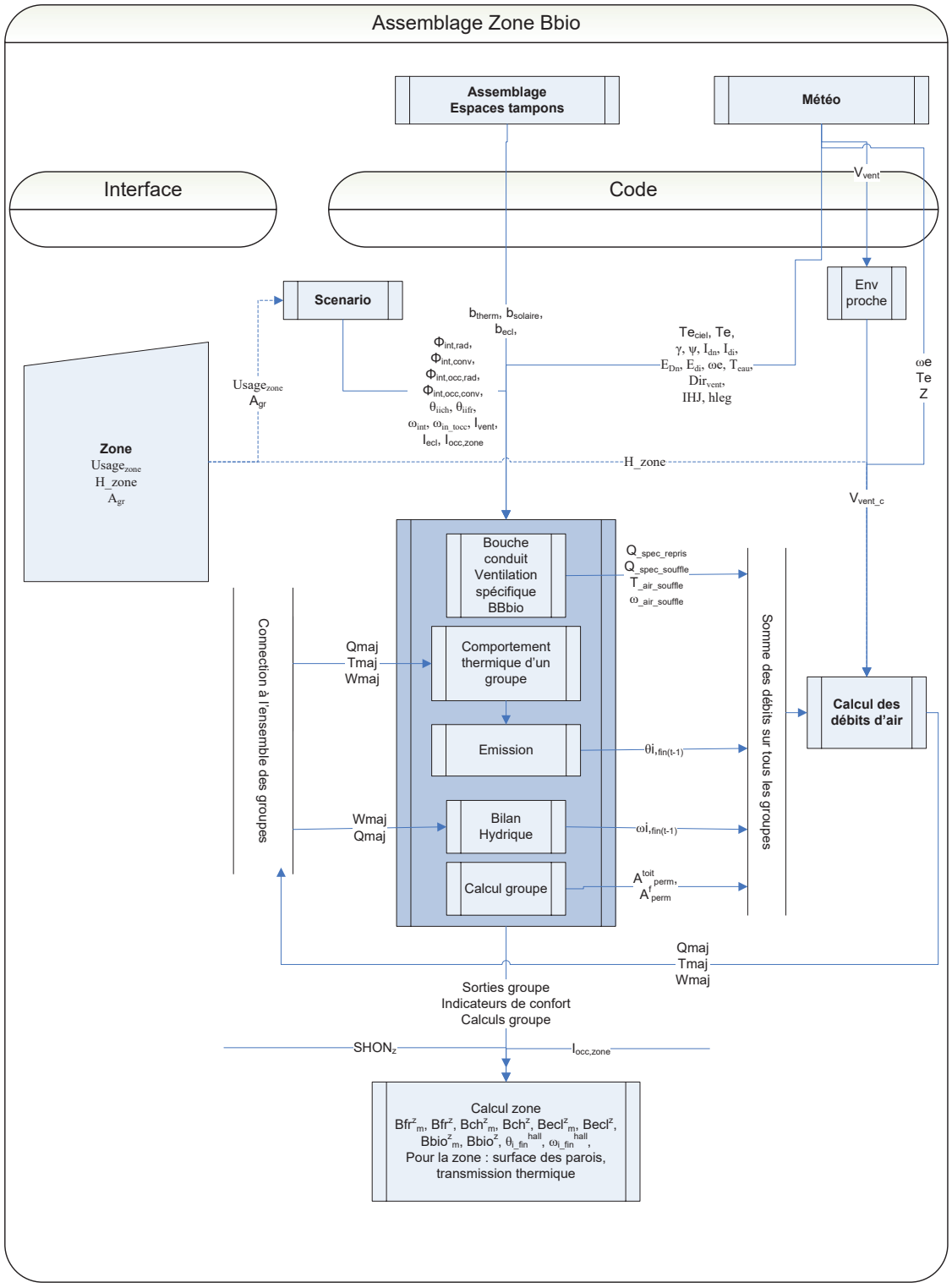


Figure 18 : assemblage des composants d'une zone pour le calcul de Bbio

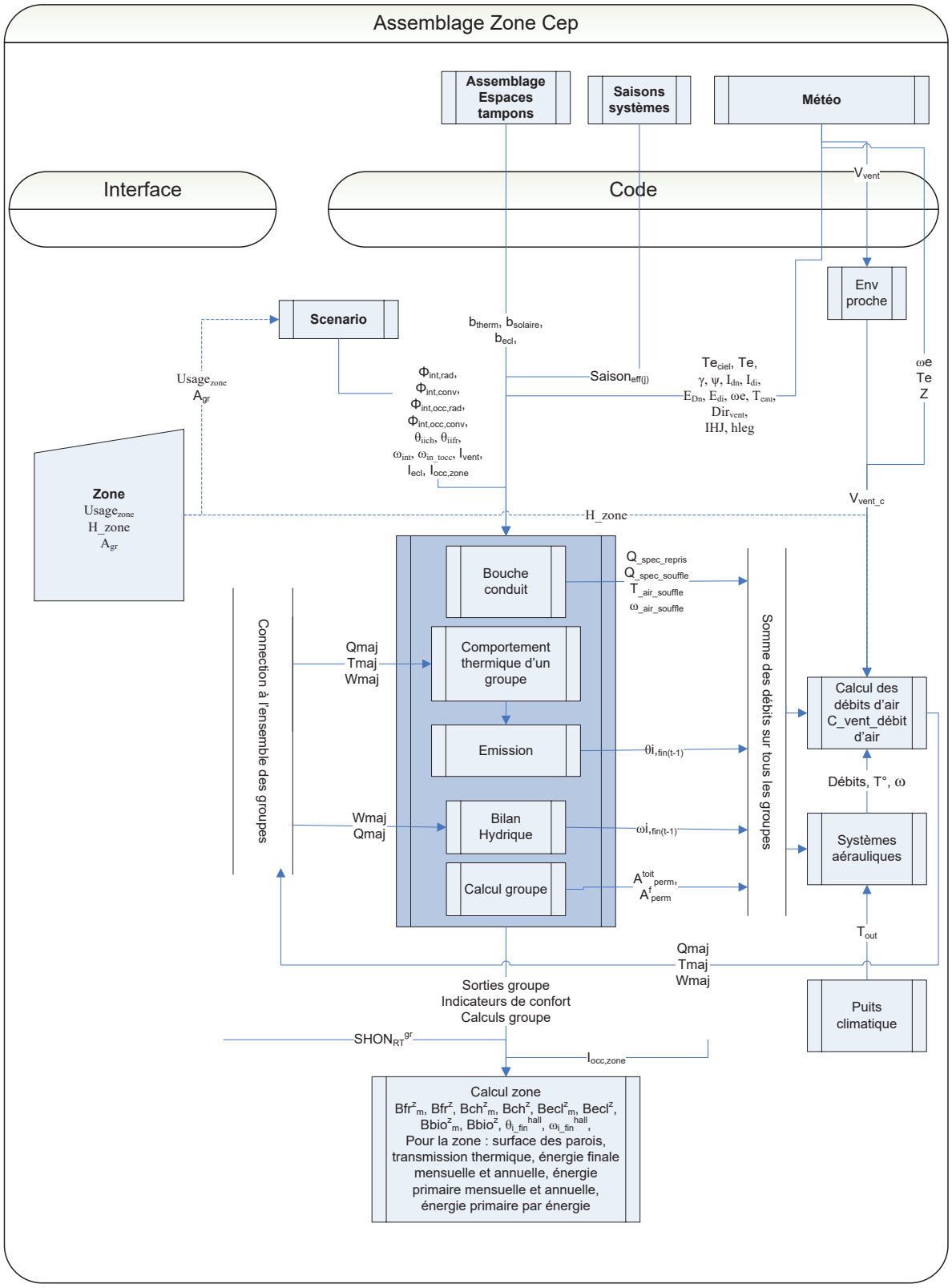


Figure 19 : assemblage des composants d'une zone pour le calcul de Cep

Les étapes du calcul Th-BCE effectués à partir de la zone sont les suivantes :

1. Calcul du bilan aéraulique au niveau de la zone ;
2. Comportement thermique pour chacun des groupes de la zone ;
3. prise en compte des systèmes aérauliques (pour CEP seulement).

5.5.3.1 **Bilan aéraulique**

Une zone étant composée de un ou plusieurs groupes, l'utilisateur a la possibilité de rentrer un ou plusieurs groupes.

Toutefois, le modèle aéraulique implique l'existence d'un groupe d'échange aéraulique, appelé **`Hall`**, par lequel transitent tous les échanges aérauliques entre les groupes composant la zone, voir Figure 20. Ainsi, l'utilisateur a la possibilité de rentrer **au maximum** un groupe de circulation qui joue alors le rôle du groupe **`Hall`**. S'il n'en rentre pas, un groupe **`Hall`** fictif est généré par le logiciel pour le besoin du calcul. Ce groupe fictif est alors étanche à l'environnement extérieur est ne possède aucun système ni aucun apport interne. Il ne reçoit pas non plus d'apports énergétiques de quelque nature que ce soit et ne possède aucune inertie. Les seules grandeurs qui doivent être calculées au niveau de ce groupe fictif sont la température de l'air et l'humidité de l'air. Elles se sont de la manière suivante :

$$\theta_{i\_fin}^{hall} = \frac{\sum_{ve} \theta_i^{ve} Q_m^{ve}}{\sum_{ve} Q_m^{ve}} \qquad (130)$$
$$\omega_{fin}^{hall} = \frac{\sum_v \omega_i^{ve} e Q_m^{ve}}{\sum_{ve} Q_m^{ve}}.$$

où :

Q_m^{ve} dénote le débit massique de l'air entrant ve,

θ_i^{ve} sa température et ω_i^{ve} son humidité.

$\theta_{i\_fin}^{hall}$ est la température finale du hall et ω_{fin}^{hall} est son humidité finale.

Le bilan aéraulique a pour but le calcul de la pression au niveau du plancher de la zone, uniforme par définition dans toute la zone, ainsi que l'ensemble des débits massiques échangés avec le groupe **`Hall`** Q_m^j , où j est un indice sur le nombre de groupe hors le groupe **`Hall`**.

Les températures de ces flux étant a priori inconnues à ce niveau du calcul, on est conduit à utiliser les températures calculées au pas précédent.

Le modèle aéraulique Th-BCE est décrit dans la fiche C_VEN_Débits_d'air_Cep, la zone y est composée de différents groupes dont le groupe d'échange aéraulique **`Hall`**.

La figure suivante montre une zone constituée de plusieurs groupes dont le hall, et précise l'enchainement des calculs.

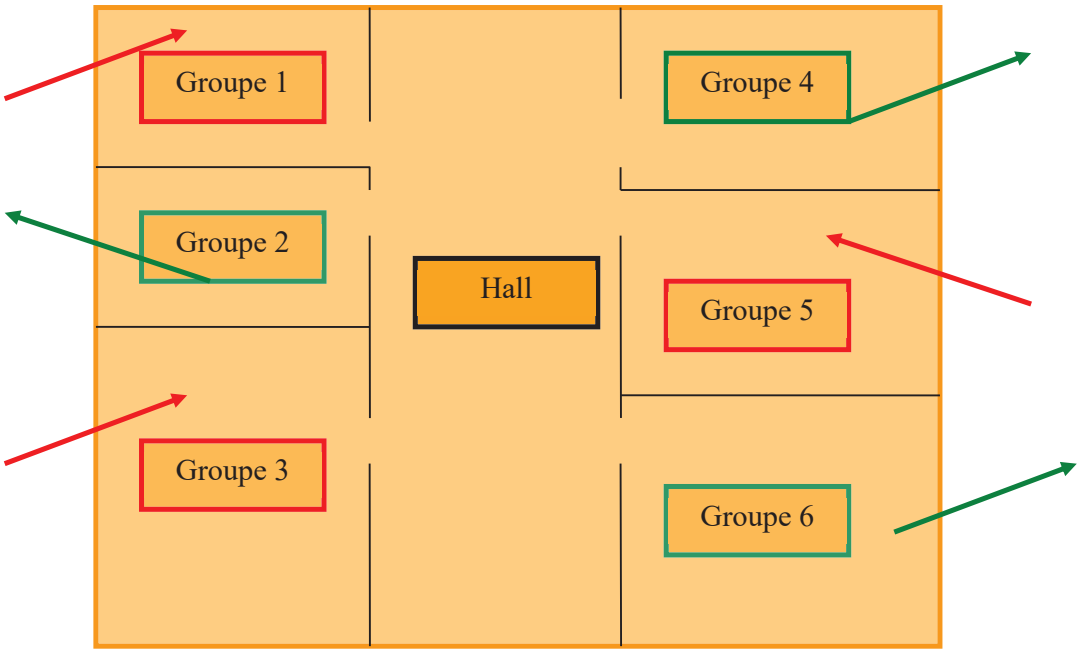


Figure 20 : Bilan aéraulique d'une zone à 6 groupes plus un hall. Dans un premier temps, on effectue le comportement therrmique des groupes 1, 3 & 5. Dans une deuxième temps, celui du hall (fictif ou pas). Puis celui des groupes 2,4&6.

5.5.3.2 Comportement thermique

Le comportement thermique est étudié à l'échelle du groupe comme décrit dans la fiche C_BAT_comportement thermique d'un groupe. Ce calcul a besoin en entrée des débits d'air entrants dans le groupe ainsi que de leurs températures et humidités. On procède comme suit.

1. On identifie l'ensemble des groupes donnant de l'air au hall, les groupes dits d'entrée. On appelle N_e leur nombre. Ces groupes sont traités en premier. On effectue le calcul de leur comportement thermique via le modèle RC. Le réseau RC demande en entrée les températures T^g_{maj}, les débits massiques Q^g_{maj} et les humidités w^g_{maj} des flux l'air entrant.

2. On traite ensuite le groupe **`Hall`**.

   - Si ce groupe n'est pas fictif et correspond à un groupe de circulation entré par l'utilisateur, on traite son comportement thermique par le modèle du réseau RC comme n'importe quel autre groupe. Il a alors N_e débits entrants, un venant de chaque groupe d'entrée dont le comportement thermique a été calculé dans l'étape précédente. La température θ_i^e de chacun de ces débits d'air est calculée par les réseaux RC. La température finale de l'air du **`Hall`** est notée $\theta_{i\_fin}^{hall}$.

   - Si le groupe est fictif, on retient un comportement simplifié. Seules la température et l'humidité du **`Hall`** fictif sont nécessaires pour poursuivre le calcul.

3. On traite enfin les groupes r qui reçoivent de l'air du hall. Le débit massique entrant dans chaque groupe est calculé par le bilan aéraulique. La température de ces débits entrant est θ_j^{hall}. La température de l'air du groupe r, θ_i^r, au pas de temps courant est une des sorties du réseau RC que l'on garde pour la suite.

5.5.3.3 *Systèmes aérauliques (pour CEP seulement)*

Les systèmes aérauliques, CTA et extracteurs par exemple, sont en relation avec C_VEN_Débits_d'air_Cep à qui ils transmettent les débits introduits et les débits repris.

Ces systèmes calculent la température de l'air en entrée de chaque groupe et la consommation électrique des ventilateurs lorsqu'ils sont présents. Le cas échéant, un puits climatique peut être relié à certains systèmes aérauliques.

5.6 C_VEN_Débits_d'air_Cep

5.6.1 INTRODUCTION

Cette fiche décrit le bilan aéraulique au sein d'une zone. Une zone regroupe plusieurs groupes qui ne peuvent communiquer que par l'intermédiaire d'un groupe particulier appelé *hall*.

Les débits d'air entrant dans un groupe ou une zone sont considérés positifs, les débits sortant sont négatifs.

Il faut distinguer les débits d'air spécifiques liés à un système de ventilation des débits d'air dus à la transparence de l'enveloppe. Ces derniers correspondent aux débits passant par les entrées d'air et par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

Note : les défauts d'étanchéité de l'enveloppe sont aussi appelés perméabilité à l'air.

La hiérarchisation des différents éléments est la suivante :

1. La zone est l'élément de base qui contient tous les autres. Elle est homogène du point de vue aéraulique, c'est-à-dire qu'on définit une unique pression au niveau du plancher P_{ib}. **La perméabilité et les entrées d'air sont définies au niveau du groupe.**
2. La zone se divise en groupes. Dans chaque groupe est définie une température. **Les débits d'air spécifiques sont définis au niveau du groupe**.
3. Chaque groupe possède des parois. Chaque paroi a une inclinaison et un azimut qui nous permet de lui associer différents paramètres dont on aura besoin au cours du calcul.

"Conventions"

- Les débits massiques d'air sont exprimés en air sec [kg/s].

- Les gains en débit d'air sont comptabilisés positivement, les pertes en débit d'air sont comptabilisées négativement.

- $\Delta P = P_{ext} - P_{\text{int}}$

"Remarques"
Les débits entrés par l'utilisateur sont en m^3/h. Le code de calcul les convertit en m^3/s.

5.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 21 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul aéraulique

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Climat	h	Heure de l'année	-
	θ_{ext}	Température extérieure au pas de temps h	°C
	we	Humidité spécifique du site	kg/kg as
	V_{ventc}	Vitesse du vent au pas de temps h	m/s
Groupe	$\theta_{i,fin}^{g}$	Température de l'air du groupe g au pas de temps h-1	°C
	$Psys_{FR,g}$	Besoin en froid du groupe g.	W
	$\omega_{i,g_{fin}}$	Humidité absolue intérieure du groupe à la fin du temps h-1	kg/kg as
Spécifi.	$q_{spec\_repris}^{g,s}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe g par le système s	m^3/h
	$q_{spec\_soufflé}^{g,s}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe g par le système s	m^3/h
	$q_{Air\_Neuf,min}^{g}$	Débit volumique minimal d'air neuf. Il correspond au débit d'hygiène	m^3/h
	$T_{air\_souffle}^{g,s}$	Température du débit spécifique soufflé au niveau du groupe g par le système s	°C
	$\omega_{air\_souffle}^{g,s}$	Poids d'eau du débit spécifique soufflé au niveau du groupe g par le système s	kg/kg as

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Entrées d'air	M^j	Module de l'entrée d'air j	m^3/h	-∞	+∞	-
	ΔP_1^j	Pression de changement de comportement de l'entrée j	Pa	-∞	+∞	
	ΔP_2^j	Pression de changement de comportement de l'entrée j	Pa	-∞	+∞	
	M'^j	Module du défaut d'autorégulabilité	m^3/h	0	+∞	

zone	r	Atténuation du débit du système anti-retour.	-	0	1	
	δ_{trav_zone}	Caractère traversant de la zone au sens des conditions d'hiver : *0 : zone non-traversante,* *1 : zone traversante.*	Ent	0	1	Voir Tableau 22
	$\delta_{permea\_verticale}$	Indicateur de transferts d'air verticaux à l'intérieur de la zone *0 : pas de transferts verticaux entre niveaux* *1 : transferts verticaux possibles entre niveaux*	Bool	0	1	-
	$i_{hergement}$	Indicateur d'usage résidentiel ou hébergement. *0 : usage non-résidentiel et non-hébergement.* *1 : usage résidentiel ou hébergement.*	Bool	0	1	-
	h_{zone}	Hauteur entre le point le plus base de la zone et le point le plus haut de la zone.	m	0	+∞	-
	$h_{plancher}$	Hauteur du point le plus bas de la zone par rapport au sol extérieur	m	-∞	+∞	-
	$Q^{g}_{4Pa\_surf}$	Perméabilité à l'air du groupe. On utilise une même valeur pour tous les groupes d'une même zone.	$m^3/h/m^2$	0	+∞	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
z	Altitude du lieu	m	0	+∞	-
$id_{ecrantage}$	Indicateur d'écrantage du site (obstacles au vent) pour la zone concernée : *0 : Site ouvert,* *1 : Site d'écrantage normal* *2 : Site écranté.*	Ent	0	2	1
A^{g}_{f}	Somme de la surface déperditive des baies et des parois opaques verticales du groupe	m²	0	+∞	-
A^{g}_{t}	Surface des toits du groupe *g*	m²	0	+∞	-

Sorties

Nom	Description	Unité
P_{IB}	Pression au niveau du plancher de la zone	Pa
Q^{g}_{maj}	Débit massique j entrant dans le groupe g	Kg/s
T^{g}_{maj}	Température du débit massique j entrant dans le groupe g	°C
$q_{m,rep,cond}$	Débit massique repris par le groupe de ventilation (CTA ou VMC DF)	kg/s
$q_{m,soufflé,cond}$	Débit massique soufflé par le groupe de ventilation (CTA ou VMC DF)	kg/s
q_{m,Air_Neuf}	Débit massique d'air neuf	kg/s
$q^{g,s}_{m,aération}$	Débit massique d'aération par ouverture de fenêtre du groupe, défini pour garantir la	kg/s

	cohérence avec le calcul de la température des groupes.	
ω_{maj}^{g}	Poids d'eau du débit massique j entrant dans le groupe g	kg/kg as
$Q_{v,def,entr}^{g}$	Au pas temps horaires, débit entrant dans le groupe via les défauts d'étanchéités	m³/h
$Q_{v,EA,entr}^{g}$	Au pas temps horaires, débit entrant dans le groupe via les entrées d'air	m³/h
$Q_{v,def,sort}^{g}$	Au pas temps horaires, débit sortant dans le groupe via les défauts d'étanchéités	m³/h
$Q_{v,EA,sort}^{g}$	Au pas temps horaires, débit sortant dans le groupe via les entrées d'air	m³/h
$\rho_{i,g}$	Masse volumique de l'air du pas de temps h, calculée à partir de la température $\theta_{i,g\ prev}$ et de l'humidité spécifique wi,gprev du pas de temps h-1	kg/m3
$H_{v\_déf}^{z}$	Déperditions par les défauts d'étanchéité au niveau de la zone	W/K

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Groupe	Rat_{t}^{g}	Ratio de la surface de toits de groupe *g* sur la surface totale de toit de la zone	-
	Rat_{f}^{g}	Ratio de la surface de façade de groupe *g* sur la surface totale de toit de la zone	-
	Rat_{EA}^{g}	Ratio caractérisant le module de l'entrée d'air du *g*	-
	Rat'^{g}_{EA}	Ratio caractérisant le module du défaut d'autorégulabilité de l'entrée d'air du *g*	
	$C_{p,s}^{g}$	Coefficient de pression du vent « sous le vent » pour le groupe *g*	-
	$C_{p,v}^{g}$	Coefficient de pression du vent « au vent » pour le toit pour le groupe *g*	-
	$C_{p,t}^{g}$	Coefficient de pression du vent pour le toit pour le groupe *g*	-
Zone	A_{f}^{zone}	Surface des façades de la zone	m²
	A_{toit}^{zone}	Surface de toit de la zone	m²
	z_b	Altitude « basse » de la zone	m
	z_h	Altitude « haute» de la zone	m
	z_t	Altitude moyenne du toit de la zone	m
Entrées d'air	C^{j}	Coefficient de débit d'air de l'entrée d'air j	-
	A^{j}	Section de l'entrée d'air j	m²
	C'^{j}	Coefficient de débit d'air associé au défaut d'autorégulabilité de l'entrée d'air j	-
	A'^{j}	Section associée au défaut d'autorégulabilité	m²

		de l'entrée d'air j	
	r^j	Coefficient de l'anti-retour de l'entrée d'air j	-
	$q_{v,1}$	débit volumique au premier changement de comportement	m^3/s
	$q_{v,2}$	débit volumique au deuxième changement de comportement	m^3/s
	a^j	Pente du comportement autoréglable de l'entrée d'air j	$m^3/s/Pa$
	b^j	Ordonnée à l'origine du comportement autoréglable de l'entré d'air j	m^3/s
Perméa	$C^{zone}_{def\_façade}$	Coefficient de la perméabilité horizontale	-
	$C^{zone}_{def\_toit}$	Coefficient de la perméabilité verticale	-
Débits d'air équivalents dus aux entrées d'air	$q^g_{v,EA,vh}$	Débit d'air volumique total équivalent au niveau du groupe *g* au vent en haut	m^3/s
	$q^g_{v,EA,vb}$	Débit d'air volumique total équivalent au niveau du groupe *g* au vent en bas	m^3/s
	$q^g_{v,EA,sh}$	Débit d'air volumique total équivalent au niveau du groupe *g* sous le vent en haut	m^3/s
	$q^g_{v,EA,sb}$	Débit d'air volumique total équivalent au niveau du groupe *g* sous le vent en bas	m^3/s
Perméabilités équivalentes	$C_{def\_façade,sh}$	Coefficient de perméabilité haute sous le vent de la zone	-
	$C^g_{def\_façade,vb}$	Coefficient de perméabilité basse au vent du groupe *g*	-
	$C^g_{def\_façade,vh}$	Coefficient de perméabilité haute au vent du groupe *g*	-
	$C^g_{def\_façade,sb}$	Coefficient de perméabilité basse sous le vent du groupe *g*	-
	$C^g_{def\_toit}$	Coefficient de perméabilité du toit	-
	$q^g_{m,neuf}$	Débit massique d'air neuf entrant par la transparence de l'enveloppe à la température extérieure	kg/s
	$q^g_{m,trav}$	Débit massique d'air traversant par la transparence de l'enveloppe	kg/s
	q^g_m	Débit massique d'air échangé avec les autres groupes	kg/s
	$q^g_{m,hall}$	Débit massique d'air que les groupes autres que le hall échangent avec le hall	kg/s
	$q^g_{m,spec\_repris}$	Débit massique repris par la ventilation spécifique	kg/s
	$q^g_{m,spec\_soufflé}$	Débit massique soufflé par la ventilation spécifique	kg/s

q_{m,Air_Neuf}	Débit massique d'air neuf	kg/s
$Q^{g}_{v,def,entr}(\Delta P$	Débit volumique entrant par tous les défauts d'étanchéité du groupe	kg/m^3
$Q^{g}_{v,def,sort}(\Delta P$	Débit volumique sortant par tous les défauts d'étanchéité du groupe	kg/m^3
$Q^{g}_{v,EA,entr}(\Delta P)$	Débit volumique entrant par toutes les entrées d'air du groupe	kg/m^3
$Q^{g}_{v,EA,sort}(\Delta P)$	Débit volumique sortant par toutes les entrées d'air du groupe	kg/m^3
$Q^{g}_{v,spec,entr}(\Delta P$	Somme des débits volumiques spécifiques entrants dans le groupe	kg/m^3
$Q^{g}_{v,spec,sort}(\Delta P$	Somme des débits volumiques spécifiques sortants du groupe	kg/m^3
ρ_{ext}	Masse volumique de l'air extérieur	kg/m^3
ρ^{g}_{int}	Masse volumique de l'air du groupe g	kg/m^3
$\rho^{g,s}_{air\_soufle}$	Masse volumique de l'air soufflé par le système spécifique s du groupe g	kg/m^3

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_{ref}	Masse volumique de référence pour une température dPref de référence = 19 °C	kg/m^3	1.2
θ_{ref}	Température de référence	°C	19
$\{C_p\}$	Collection des coefficients de pression du vent	-	-
$\Delta P_{ref,1}$	Différence de pression de référence pour le calcul des débits des entrées d'air	Pa	20
$\Delta P_{ref,2}$	Différence de pression de référence pour le calcul de la perméabilité	Pa	4
M_a	masses molaires de l'air	g/mol	28,976
M_W	masses molaires de l'eau	g/mol	18
R_{H_EA}	Rapport indiquant la position de l'entrée d'air en absence de perméabilité verticale	-	0.92
C_d	Coefficient de décharge	-	0.68
g	Pesanteur	m/s^2	9.81
C_{pa}	Chaleur massique de l'air	J/kg.K	1006

Tableau 21 : Nomenclature du modèle

5.6.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.6.3.1 ***Définitions***

5.6.3.1.1 Définition des masses volumiques

La masse volumique de l'air extérieur a pour expression

$$\rho_{ext} = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+\theta_{ext})} \times \frac{(1+\omega e)}{1+\omega e \times (M_a/M_w)} \quad (131)$$

A un nœud de température d'air intérieur (pour chaque groupe donc), on associe la masse volumique suivante :

$$\rho_{int}^{g} = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+\theta_{i,g,fin})} \times \frac{(1+\omega_{i,g})}{1+\omega_{i,g} \times (M_a/M_w)} \quad (132)$$

La masse volumique de l'air soufflé par le système de ventilation spécifique s du groupe g est :

$$\rho_{air\_souffle}^{g,s} = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{\left(273+T_{air\_souffle}^{g,s}\right)} \times \frac{\left(1+\omega_{air\_souffle}^{g,s}\right)}{1+\omega_{air\_souffle}^{g,s} \times (M_a/M_w)} \quad (133)$$

Pour un groupe donné, si **l'air neuf** entrant dans le groupe via une **entrée d'air** transite d'abord par un **espace tampon**, on a $I_{climatique} = vrai$. Dans le cas contraire $I_{climatique} = Faux$

Si $I_{climatique} = vrai$, alors on définit : $T_{AN}^{g} = T_{air\_out}$

Si $I_{climatique} = Faux$, alors : $T_{AN}^{g} = \theta_{ext}$

La masse volumique de l'air neuf entrant dans le groupe via une entrée d'air a alors pour expression :

$$\rho_{AN}^{g} = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+T_{AN}^{g})} \times \frac{(1+\omega e)}{1+\omega e \times (M_a/M_w)} \quad (134)$$

5.6.3.1.2 Définition des pressions

La différence de pression à laquelle est soumise un composant situé sur une façade de la zone (perméabilité ou entrée d'air) a pour expression :

$$\Delta P_{comp} = P_{ext,comp} - P_{int,comp}, \quad (135)$$

où $P_{ext,comp}$ et $P_{int,comp}$ correspondent respectivement à la pression extérieure et à la pression intérieure *vues* par le composant en façade. Ces dernières ont pour formulation :

$$P_{ext,comp} = \frac{1}{2} C_p \rho_{ext} \cdot (V_{Ventc})^2 - g \cdot z_{comp} \cdot \rho_{ext}, \quad (136)$$

et

$$P_{int,comp} = P_{ib} - \rho_{int} \cdot g \cdot z_{comp} \quad (137)$$

5.6.3.1.3 Définition des coefficients de pression Cp

L'indicateur δ_{trav_zone} de la zone caractérise la possibilité de transferts d'air entre les différentes façades de la zone sur un niveau (au travers des locaux et des cloisons intérieures). Il est à rapprocher aux conditions d'hiver, c'est-à-dire baies vitrées et portes intérieures considérées fermées.

Le caractère traversant de la zone est conventionnel (voir Tableau 22).

La seule exception est le cas de la zone à usage d'habitation – logement collectif. Pour ce dernier, δ_{trav_zone} est pris égal à 1 (traversant), si les logements qui constituent la zone correspondent à des logements :

- traversant au sens du confort d'été,
- dont les portes intérieures d'une façade à une autre comportent un détalonnage.

δ_{trav_zone} est pris égal à 0 (non-traversant) dans le cas contraire.

On peut ainsi avoir cohabitation dans un bâtiment à usage d'habitation – logement collectif, d'une zone traversante, et d'une zone non traversante.

N° d'usage	Type d'usage associé	δ_{trav_zone}
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	1
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	Non-conventionnel
4	Enseignement primaire	1
5	Enseignement secondaire (partie jour)	1
16	Bureaux	1

Tableau 22: relation entre le type d'usage et le caractère traversant du groupe au sens des conditions d'hiver

Pour le toit ou pour une façade donnée, le coefficient de pression Cp_K est fonction de l'exposition au vent et de la hauteur de la zone comme on peut le voir dans le Tableau 23 : et le Tableau 24.

L'écrantage de la zone est fixée conventionnellement à « normal » ($id_{écrantage}$ = 1).

Cas d'une zone traversante (δ_{trav_zone} = 1) :

Hauteur de la zone	Ecrantage	$C_{P,v}$ **façades au vent**	$C_{P,S}$ **façades sous le vent**	$C_{P,t}$ $C_{P,t}$ **Toit** (selon son inclinaison β par rapport à la verticale)[2]		
				30°-60°	**60°-80°**	**>80°**
$h_{moy} < 15m$	*Ouvert*	+0.50	-0.70	-0.20	-0.60	-0.70
	Normal	+0.25	-0.50	-0.20	-0.50	-0.60
	Ecranté	+0.05	-0.30	-0.20	-0.40	-0.50
$15m < h_{moy} < 50m$	*Ouvert*	+0.65	-0.70	-0.20	-0.60	-0.70
	Normal	+0.45	-0.50	-0.20	-0.50	-0.60
	Ecranté	+0.25	-0.30	-0.20	-0.40	-0.50
$h_{moy} > 50m$	*Ouvert*	+0.80	-0.70	-0.20	-0.60	-0.70

Tableau 23 : C_p pour les zones traversantes (réf : tableau A.3 EN NF 15242)[3]

Note : Conventionnellement, pour les zones traversantes, on considèrera un toit avec inclinaison β par rapport à la verticale supérieure à 80 ° quel que soit l'usage considéré (toiture horizontale).

Cas d'une zone non-traversante (δ_{trav_zone} = 0) :

$C_{P,v}$ **façades au vent**	$C_{P,S}$ **façades sous le vent**	$C_{P,t}$ **Toit**
0.05	-0.05	0

Tableau 24: C_p pour les zones non traversantes

La hauteur moyenne de la zone est définie par $h_{moy} = h_{zone} + 0.5h_{plafond}$.

On définit les coefficients de pression au niveau de chaque groupe de la manière suivante :

1. $C_{p,v}^g$ coefficient de pression de la paroi du groupe au vent.
2. $C_{p,s}^g$ coefficient de pression de la paroi du groupe sous le vent.
3. $C_{p,t}^g$ coefficient de pression sur le toit du groupe.

Selon la hauteur de la zone et donc du groupe, on peut avoir différentes valeurs de $C_{p,v}^g$, de $C_{p,s}^g$et de $C_{p,t}^g$.

[2] Dans la norme, ces valeurs sont données en fonction de l'angle par rapport à l'horizontal $(90-\beta)$

[3] Les coefficients de pression du vent fournis sont valables pour un secteur d'approximativement ± 60° par rapport à l'axe de façade. La direction du vent n'est pas considérée de façon plus spécifique.

5.6.3.1.4 Caractérisation de la possibilité de transferts d'air verticaux entre niveaux d'une zone (perméabilité verticale)

L'indicateur $\delta_{permea\_verticale}$ caractérise la possibilité de transferts d'air entre niveaux d'une zone, en se basant sur la hauteur de celle-ci (tirage thermique) et le confinement éventuel entre niveaux.

Il s'agit d'un paramètre conventionnel, défini selon la procédure suivante

Si $i_{herbergement} = 1$ (usage d'habitation ou d'hébergement) ou $h_{zone} < 3$ (*m*), alors,

$$\delta_{permea\_verticale} = 0 \text{ } \textit{(pas de transferts d'air verticaux entre niveaux de la zone)} \quad (138)$$

Sinon,

$$\delta_{permea\_verticale} = 1 \text{ } \textit{(possibilité de transferts d'air verticaux entre niveaux de la zone)}$$

5.6.3.1.5 Définition des surfaces déperditives

Chaque élément de l'enveloppe d'un groupe (parois opaques donnant sur l'extérieur, baie vitrées et ponts thermiques) est une entrée utilisateur.

A partir de ces données et pour chaque groupe, on comptabilise les diverses surfaces (façade, toit) :

1. Une **façade** est une paroi opaque **ou** une baie dont l'inclinaison par rapport à la verticale est inférieure à 30°. La surface totale des façade d'un groupe g est A_f^g.
2. Un **toit** est une paroi opaque ou une baie dont l'inclinaison par rapport à la verticale est supérieure à 30°. La surface totale de la toiture d'un groupe g est A_t^g

On introduit la somme des surfaces de façade et la somme des surfaces de toiture au niveau de la zone:

$$\begin{aligned} A_f^{zone} &= \sum_g A_f^g \\ A_t^{zone} &= \sum_g A_t^g \end{aligned} \quad (139)$$

ainsi que les ratios de surface de façade et de toit au niveau du groupe g

$$\begin{aligned} Rat_f^g &= \frac{A_f^g}{A_f^{zone}} \\ Rat_t^g &= \frac{A_t^g}{A_t^{zone}} \end{aligned} \quad (140)$$

5.6.3.2 *Les entrées d'air*

5.6.3.2.1 *Calcul des débits des entrées d'air*

Ce paragraphe vise le calcul des débits d'air passant par une entrée d'air de la zone. La section ou le module de l'entrée d'air correspond à la section totale de l'entrée d'air de la zone répartie selon le paragraphe suivant (§5.6.3.2.2). Le débit volumique d'une entrée d'air est décrit par un comportement caractéristique illustré Figure 21 constitué de 4 tronçons de courbes.

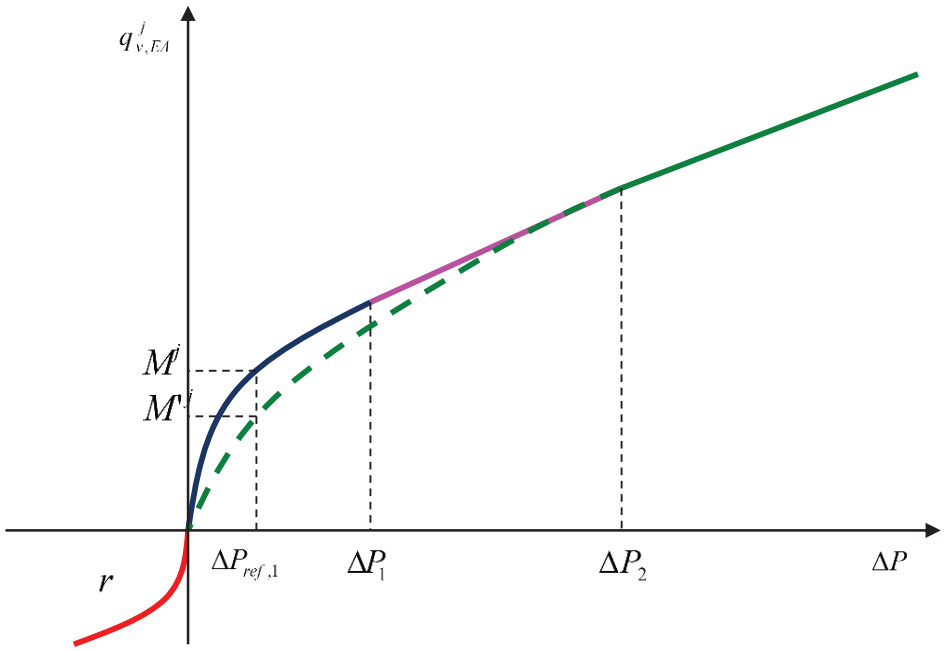


Figure 21 : Courbe caractéristique d'un entrée. On montre l'ensemble des entrées utilisateurs qui peuvent être ajustées afin d'obtenir une entrée d'air fixe ou bien pour obtenir un comportement autoréglable anti-retour.

1. **On décrit d'abord la partie principale** $0 \leq \Delta P \leq \Delta P_1$:

On introduit $A^j = 10^{-4}.M^j.\left(\frac{10}{|\Delta P_{ref,1}|}\right)^{0,5}$ et $C^j = C_d.\left(\frac{2}{\rho_{ref}}\right)^{0.5}.A^j$. Le débit volumique dans cette région est alors

$$q^i_{v,EA}(\Delta P) = C^j|\Delta P|^{0.5} \qquad (141)$$

Dans le cas où on considère une entrée d'air fixe sans autorégulabilité, $\Delta P_1 = \infty$.

2. $\Delta P_1 < \Delta P$: **On décrit un système autoréglable**. Il est constitué de deux tronçons de courbes, une partie linéaire, est une partie qui se comporte de nouveau comme une entrée d'air fixe. Un commence par décrire cette dernière :

   - $\Delta P_2 < \Delta P$

   -

   $$- \quad q_{v,EA}^{j}(\Delta P) = C'^{j}|\Delta P|^{0.5},$$

   où $C'^{j} = C_d.\left(\frac{2}{\rho_{ref}}\right)^{0.5}.A'^{j}$ et $A'^{j} = 10^{-4}.M'^{j}.\left(\frac{10}{|\Delta P_{ref,1}|}\right)^{0,5}$.
   - $\Delta P_1 < \Delta P \leq \Delta P_2$: c'est le partie autoréglable à proprement parler.

On introduit

$$\begin{aligned} q_{v,1} &= C^{j}|\Delta P_1|^{0.5} \\ q_{v,2} &= C'^{j}|\Delta P_2|^{0.5}, \end{aligned} \tag{143}$$

On définit

$$\begin{aligned} a &= \frac{q_{v,2}-q_{v,1}}{\Delta P_2-\Delta P_1} \\ b &= -\frac{q_{v,2}.\Delta P_1-q_{v,1}\Delta P_2}{\Delta P_2-\Delta P_1}, \end{aligned} \tag{144}$$

d'où on déduit le débit volumique de l'autorégulation

$$q_{v,EA}^{j}(\Delta P) = |a \times \Delta P + b|. \tag{145}$$

Attention : Il faut vérifier que $C'^{j} \geq C^{j}\frac{|\Delta P_1|^{0.5}}{|\Delta P_2|^{0.5}}$ (ou de manière équivalente$a \geq 0$). La caractéristique est alors monotone croissante ce qui est nécessaire pour le solveur.

3. **Si** $\Delta P < 0$, **un dispositif anti-retour peut être implémenté** :

$$q_{v,EA}^{j}(\Delta P) = -rC^{j}|\Delta P|^{0,5} \tag{146}$$

où r est le coefficient de réduction de l'anti-retour. En l'absence d'anti-retour, il est égal à 1.

5.6.3.2.2 Répartition du nombre des entrées d'air et de leur position

Répartition des entrées d'air

Les entrées d'air doivent être réparties de manière conventionnelle au niveau du groupe comme spécifié dans Tableau 25.

Répartition des entrées d'air	Façade au vent	Façades sous le vent
En haut $(z = z_h)$	1/4	1/4
En bas $(z = z_b)$	1/4	1/4

Tableau 25 : Répartition des entrées d'air dans la zone

Hauteur des entrées d'air

La répartition et la hauteur des entrées d'air impactent sur les valeurs de pression intérieure et extérieure, utilisés pour le calcul du paragraphe suivant (§5.6.3.2.1). Elle est fonction de la hauteur de tirage thermique et donc de la hauteur des locaux de la zone et de son degré de cloisonnement entre niveaux. Elle est déterminée de la façon suivante.

- **Cas d'une zone avec hauteur de tirage thermique significative[4] ; $\left(\boldsymbol{\delta^{perméa}_{verticale} = 1}\right)$**

Les différents composants décrivant les entrées d'air sont définis aux altitudes suivantes :

- Altitude basse : $z_b = z + h_{plancher} + 0.25 \times min(h_{zone}, 15)$
- Altitude haute : $z_h = z + h_{plancher} + 0.75 \times min(h_{zone}, 15)$

- **Cas d'une zone avec hauteur de tirage thermique négligeable[5] ; $\left(\boldsymbol{\delta^{perméa}_{verticale} = 0}\right)$**

Les différents composants décrivant les entrées d'air sont définis à l'altitude (unique) suivante :

- Altitude unique : $z_b = z + h_{plancher} + R_{H\_EA} \times min(h_{zone}, 3)$

[4] La hauteur de tirage thermique induit des transferts d'air verticaux à l'intérieur de la zone. ***On parlera de zone avec perméabilité verticale***.

[5] La hauteur de tirage thermique est négligeable. Elle n'induit pas des transferts d'air verticaux significatifs à l'intérieur de la zone. ***On parlera de zone sans perméabilité verticale***.

L'entrée d'air équivalente

On définit pour la zone une entrée d'air équivalente dont la caractéristique est la somme des caractéristiques de toutes les entrées d'air de tous les groupes:

$$q_{v,EA}^{zone}(\Delta P) = \sum_{g} q_{v,EA}^{g}(\Delta P) \quad (17)$$

Cette entrée d'air est ensuite répartie de manière conventionnelle dans chaque groupe comme indiqué dans le

Répartition des entrées d'air	Façade au vent	Façades sous le vent
En haut $(z = z_h)$	$q_{v,vb}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$	$q_{v,sb}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$
En bas $(z = z_b)$	$q_{v,vh}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$	$q_{v,sh}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$

Tableau 26.

Répartition des entrées d'air	Façade au vent	Façades sous le vent
En haut $(z = z_h)$	$q_{v,vb}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$	$q_{v,sb}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$
En bas $(z = z_b)$	$q_{v,vh}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$	$q_{v,sh}^{g}(\Delta P) = \frac{1}{4} Rat_{EA}^{g} q_{v,EA}^{zone}(\Delta P)$

Tableau 26 : Répartition des entrées d'air dans le groupe (NF EN 15242)

Avec :

$$Rat_{EA}^{g} = \frac{q_{v,EA}^{g}(\Delta P)}{\sum_g q_{v,EA}^{g}(\Delta P)} \quad (147)$$

Les caractéristiques des entrées d'air sont définies dans les groupes de façon générique au paragraphe 5.6.3.2.1.
Ainsi :

- pour une entrée fixe :

$$Rat_{EA}^{g} = \frac{M^{j,g}}{\sum_g M^{j,g}} \quad (148)$$

- pour une entrée auto réglable, on définira un deuxième ratio :

$$Rat'^{g}_{EA} = \frac{M^{j',g}}{\sum_g M^{j',g}} \quad (149)$$

Les différences de pressions caractéristiques $(\Delta P_{ref}, \Delta P_1 \; et \; \Delta P_2)$ seront les mêmes pour tous les groupes d'une même zone.
Pour chaque groupe, la valeur du paramètre r de l'entrée d'air est conservée (cf. : Figure 21 et § 5.6.3.2.1.).

5.6.3.3 *La perméabilité*

5.6.3.3.1 Répartition du nombre de défauts d'étanchéité et de leur position

Données des défauts d'étanchéités au niveau du groupe

Les défauts d'étanchéités sont des données du groupe. Ils sont caractérisés par un coefficient, $Q^{g}_{4Pa\_surf}$ et qui caractérisent les perméabilités horizontale et verticale. De ces deux indices, on déduit les coefficients de perméabilité de la zone par

$$\begin{aligned} C^{zone}_{def\_façade} &= \sum_g \frac{A^g_f Q^g_{4Pa\_surf}}{(4)^{2/3}} \\ C^{zone}_{def\_toit} &= \sum_g \frac{A^g_t Q^g_{4Pa\_surf}}{(4)^{2/3}} \end{aligned} \quad . \qquad (150)$$

Répartition des défauts d'étanchéités au niveau de la zone

Les défauts d'étanchéités sont répartis conventionnellement **au niveau de la zone** de la façon suivante :

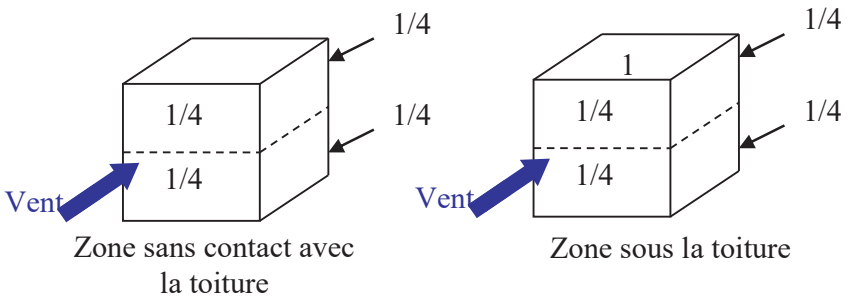


Figure 22 : Répartition conventionnelle de la perméabilité au sein d'une zone

Le Tableau 27 et le Tableau 28 présentent la répartition conventionnelle des défauts d'étanchéité.

Répartition des défauts d'étanchéité	Façade au vent	Façades sous le vent
En haut $(z = z_h)$	$\frac{1}{4} C^{zone}_{def\_façade}$	$\frac{1}{4} C^{zone}_{def\_façade}$
En bas $(z = z_b)$	$\frac{1}{4} C^{zone}_{def\_façade}$	$\frac{1}{4} C^{zone}_{def\_façade}$

Tableau 27 : Répartition des défauts d'étanchéité dans une zone sans contact avec la toiture

Répartition des défauts d'étanchéité	Façade au vent	Façades sous le vent	Toit
En haut ($z = z_h$)	$\frac{1}{4} C_{def\_façade}^{zone}$	$\frac{1}{4} C_{def\_façade}^{zone}$	-
En bas ($z = z_b$)	$\frac{1}{4} C_{def\_façade}^{zone}$	$\frac{1}{4} C_{def\_façade}^{zone}$	-
Toit ($z = h_{zone}$)	-	-	$C_{def\_toit}^{zone}$

Tableau 28 : Répartition des défauts d'étanchéité dans une zone avec contacts avec la toiture

Répartition des défauts d'étanchéité au niveau du groupe

La pression au-dessus du plancher n'étant définie qu'au niveau du groupe du fait de la dépendance de la pression sur la température (cf. Equation (131)), la perméabilité *conventionnelle* doit être répartie au niveau du groupe comme décrit dans le Tableau 29.

Répartition des défauts d'étanchéité	Façade au vent	Façades sous le vent	Toit
En haut ($z = z_h$)	$C_{def\_façade,vb}^{g} = \frac{1}{4} Rat_f^g C_{def\_façade}^{zone}$	$C_{def\_façade,vb}^{g} = \frac{1}{4} Rat_f^g C_{def\_façade}^{zone}$	-
En bas ($z = z_b$)	$C_{def\_façade,vh}^{g} = \frac{1}{4} Rat_f^g C_{def\_façade}^{zone}$	$C_{def\_façade,sh}^{g} = \frac{1}{4} Rat_f^g C_{def\_façade}^{zone}$	-
Toit ($z = h_{zone}$)	-	-	$C_{def\_toit}^{g} = Rat_t^g C_{def\_toit}^{zone}$

Tableau 29 : Répartition des défauts d'étanchéité dans un groupe

Hauteur des défauts d'étanchéité

La répartition et la hauteur des défauts d'étanchéité impactent sur les valeurs de pression intérieure et extérieure, utilisés pour le calcul du paragraphe suivant (§5.6.3.2.1).

z_b et z_h sont analogues à ceux définis pour les entrée d'air.

- **Cas d'une zone avec hauteur de tirage thermique significative** $\left(\boldsymbol{\delta_{verticale}^{perméa} = 1}\right)$

Les différents composants décrivant les entrées d'air sont définis aux altitudes suivantes :

- Altitude basse : $z_b = z + h_{plancher} + 0.25 \times min(h_{zone}, 15)$
- Altitude haute : $z_h = z + h_{plancher} + 0.75 \times min(h_{zone}, 15)$
- Altitude du toit : $z_t = z + h_{plancher} + min(h_{zone}, 15)$

- **Cas d'une zone avec hauteur de tirage thermique négligeable** $\left(\boldsymbol{\delta_{verticale}^{perméa} = 0}\right)$
  - Altitude basse : $z_b = z + h_{plancher} + 0.25 \times min(h_{zone}, 3)$
  - Altitude haute : $z_h = z + h_{plancher} + 0.75 \times min(h_{zone}, 3)$
  - Altitude du toit : $z_t = z + h_{plancher} + min(h_{zone}, 3)$

5.6.3.3.2 Débits d'air dus à la perméabilité à l'air

Les débits volumiques d'air dus à la perméabilité sont évalués à partir de la formulation suivante :

$$q_{v,def}(\Delta P) = sgn(\Delta P)\, C_{def}^{g} |\Delta P|^{2/3}, \quad (151)$$

où C_{def}^{g} est un des 5 (ou 4) coefficients du Tableau 29.
Chaque groupe possède à priori cinq perméabilités réglementaires (quatre s'il ne possède pas de toit). La différence de pression est évaluée aux hauteurs z_b, z_h et z_t. On identifie donc cinq (ou quatre) débits volumiques dus aux défauts d'étanchéité.

On fait la somme sur les défauts appartenant au groupe :

$$q_{v,etancheite}^{g} = \sum_{def \in g} q_{v,def} \quad (23)$$

5.6.3.3.3 Valeurs par défaut de la perméabilité à l'air de l'enveloppe

Une valeur mesurée, et justifiée par le résultat du test d'étanchéité à l'air peut être saisie directement dans le moteur de calcul.

Cependant,

- si cette mesure est issue d'une mesure par échantillonnage, la valeur de la perméabilité saisie $Q_{4Pa\_surf}^{g}$ est multipliée par 1,2. Une valeur obtenue dans le cadre d'une démarche qualité conformément à l'annexe VII du présent arrêté peut être saisie directement dans le moteur de calcul.

- Dans le cas où des travaux pouvant affecter la perméabilité à l'air des logements restent à réaliser après la livraison, et en l'absence de réservation évitant toute création de fuite lors de ces travaux, les valeurs de perméabilité obtenues sont augmentées de 0,3 m³/(h.m²).

Ces deux augmentations sont cumulables dans cet ordre.

Enfin, il est possible, sans justification, d'utiliser les valeurs par défaut listées dans le tableau ci-dessous pour les typologies concernées.

N° d'usage	Type d'usage associé	*Valeurs par défaut ($m^3/(h.m^2)$)*
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	*Pas de valeur par défaut*
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	
4	Enseignement primaire	*1,7*
5	Enseignement secondaire (partie jour)	*1,7*
16	Bureaux	*1,7*

Tableau 30 : Valeurs par défaut de la perméabilité à l'air de l'enveloppe

5.6.3.4 *Les débits spécifiques d'air massiques au niveau du groupe*

Les débits volumiques spécifiques repris $q^{g,s}_{spec\_repris}$ et/ou soufflé $q^{g,s}_{spec_soufflé}$par le système s du groupe g sont transformés en débits massique $q^{g,s}_{m,spec\_repris}$ et/ou soufflé $q^{g,s}_{sm,pec\_soufflé}$.

Au final, on fait la somme des débits spécifiques soufflé et repris **au niveau de la zone** :

$$q_{m,spec\_repris} = \sum_{g}\left(\sum_{s} q^{g,s}_{m,spec\_repris}\right) \quad (152)$$

$$q_{m,spec\_souffle} = \sum_{g}\left(\sum_{s} q^{g,s}_{m,spec\_souffle}\right) \quad (153)$$

5.6.3.4.1 Cas d'une Ventilation Mécanique simple Flux

Dans le cas d'une ventilation mécanique simple flux par extraction ou par insufflation, les débits massiques sont définis comme suit :

Isouf = 0

$$q^{g,s}_{m,spec\_repris} = \rho_{int} \times 3600^{-1} \times q^{g,s}_{spec\_repris} \quad (154)$$

Isouf = 1

$$q^{g,s}_{m,spec\_souffle} = \rho^{g,s}_{air\_souff} \times 3600^{-1} \times q^{g,s}_{spec\_souffle} \quad (155)$$

5.6.3.4.2 Cas d'une Ventilation Mécanique double Flux

Dans le cas d'une ventilation mécanique double flux (**VMC DF ou CTA à débits constants**), les débits massiques sont définis comme suit :

$$q^{g,s}_{m,spec\_repris} = \rho_{int} \times 3600^{-1} \times q^{g,s}_{spec\_repris} \quad (156)$$

$$q^{g,s}_{m,spec\_souffle} = \rho^{g,s}_{air\_souff} \times 3600^{-1} \times q^{g,s}_{spec\_souffle} \quad (157)$$

5.6.3.4.3 Débits spécifiques dans le cas d'une CTA à débit variable

Dans le cas d'une CTA à débits variables, **les débits massiques spécifiques d'un groupe** sont définis comme suit :

$$\boldsymbol{q^{g}_{m,spec\_soufflé} = 3600^{-1} \times \rho^{g,s}_{Air\_soufflé} \times q^{g}_{spec\_soufflé}} \quad (158)$$

Et

$$q^{g,s}_{m,spec\_repris} = -q^{g,s}_{m,spec\_soufflé} \quad (159)$$

5.6.3.4.4 Calcul des débits caractérisant la transparence de l'enveloppe

Les débits massiques passant par une **entrée d'air** pour formulation :

$$q_m^g = \rho . q_v^g \quad (160)$$

Avec :

$\Delta P = P_{ext} - P_{int} \quad \rho = \rho_{int}$

si $\Delta P = P_{ext} - P_{int}$ $\rho = \rho_{AN}^g$

Les débits massiques passant par les **défauts d'étanchéités** ont pour formulation :

$$q_m^g = \rho . q_v^g \quad (161)$$

$$H_{v\_def}^z = \sum_{g \in z} C_p \times q_m^g \quad (34)$$

Avec :

$\Delta P = P_{ext} - P_{int}$: $\rho = \rho_{int}$

si $\Delta P = P_{ext} - P_{int}$ $\rho = \rho_{ext}$

5.6.3.4.5 Cas d'une Ventilation naturelle par ouverture des fenêtres

Dans le cas d'une ventilation naturelle par ouverture des fenêtres, les débits massiques sont définis comme suit :

$$q_{m,spec\_souffle}^{g,s} = \rho_{air\_souff}^{g,s} \times 3600^{-1} \times q_{spec\_souffle}^{g,s} \quad (162)$$

Et

$$q_{m,spec\_repris}^{g,s} = -q_{m,spec\_soufflé}^{g,s} \quad (163)$$

Par ailleurs, pour garantir la cohérence avec le calcul de la température des groupes , on définit un nouvel objet :

$$q_{m,aération}^{g,s} = q_{m,spec\_souffle}^{g,s} \quad (164)$$

5.6.3.4.6 Cas d'une Ventilation naturelle par conduit ou de ventilation hybride

Dans le cas d'une ventilation naturelle par conduit ou de ventilation hybride, les débits massiques sont définis comme suit :

$$q_{m,spec\_repris}^{g,s} = \rho_{int} \times 3600^{-1} \times q_{spec\_repris}^{g,s} \quad (165)$$

5.6.3.4.7 Ventilation Mécanique Basse Pression

Dans le cas d'une ventilation Mécanique Basse Pression, les débits massiques sont définis comme suit :

$$q^{g,s}_{m,spec\_repris} = \rho_{int} \times 3600^{-1} \times q^{g,s}_{spec\_repris} \qquad (166)$$

5.6.3.5 *Calculs du Pib*

On calcule P_{ib} en imposant que la somme des débits **massiques de la zone** soit nulle conformément à la loi de conservation de la masse d'air (dans la zone).

$$q_{m,def}(\Delta P) + q_{m,EA}(\Delta P) + q_{m,repris} + q_{m,soufflé} = 0$$

Autrement dit

$$\sum_{groupe} [q^g_{m,def\_façade,vb}(\Delta P_{vb,g}) + q^g_{m,def\_façade,sb}(\Delta P_{sb,g}) + q^g_{m,def\_façade,vh}(\Delta P_{vh,g}) + q^g_{m,def,\_façadesh}(\Delta P_{sh,g}) + q^g_{m,def\_toit}(\Delta P_{t,g}) + q^g_{m,EA,vb}(\Delta P_{vb,g}) + q^g_{m,EA,sb}(\Delta P_{sb,g}) + q^g_{m,EA,vh}(\Delta P_{vh,g}) + q^g_{m,EA,sh}(\Delta P_{sh,g})] + q_{m,spec\_soufle} + q_{m,spec\_repris} = 0 \quad (167)$$

où chacun des ΔP est la différence de pression calculée pour le composant considéré.

Note : le terme $q^g_{m,def,t}(\Delta P_{t,g})$ n'est présent que si la zone est en contact avec un toit.

Chaque différence de pression dépend de P_{ib}. Par conséquent, cet équilibre aéraulique définit une équation dont P_{ib} est l'inconnue. Une fois cette équation résolue numériquement, l'algorithme renvoie la pressionP_{ib}.

5.6.3.6 *Calculs des débits échangés entre les groupes et le Hall*

Pour un groupe donné, le débit massique d'air échangé avec les autres groupe est calculé par

$$q^g_m(\Delta P) = -\left(q^g_{m,def}(\Delta P) + q^g_{m,EA}(\Delta P) + q^g_{m,repris} + q^g_{m,soufflé}\right) \quad (168)$$

Avec :

$$q^g_{m,def}(\Delta P) = q^g_{m,def\_façade,vb}(\Delta P_{vb,g}) + q^g_{m,def\_façade,sb}(\Delta P_{sb,g}) + q^g_{m,def\_façade,vh}(\Delta P_{vh,g}) + q^g_{m,def\_façade,sh}(\Delta P_{sh,g}) + q^g_{m,def\_toit}(\Delta P_{t,g}) \quad (169)$$
$$q^g_{m,EA}(\Delta P) = q^g_{m,EA,vb}(\Delta P_{vb,g}) + q^g_{m,EA,sb}(\Delta P_{sb,g}) + q^g_{m,EA,vh}(\Delta P_{vh,g}) + q^g_{m,EA,sh}(\Delta P_{sh,g})$$

Dans le modèle de ventilation de TH-BCE, une différence est faite entre le hall par lequel transite l'ensemble de l'air intérieur et les autres groupes. Pour ces groupes, on définit un débit d'air échangé avec le hall :

$$q^g_m(\Delta P) = q^g_{m,hall}(\Delta P) \quad (170)$$

Si le débit $q^g_{m,Hall}$ est négatif, le groupe est un groupe dit *extracteur*. Sinon, c'est un groupe *d'entrée*

Le débit d'air neuf est le débit rentrant par l'enveloppe à température extérieure avec l'humidité extérieure. On le calcule en sommant sur tous les débits dus aux entrées d'air et tous les débits d'air dus aux défauts d'étanchéité du groupe :

$$q^g_{m,neuf} = \sum_{EA} \max\,(q^g_{m,EA}, 0) + \sum_{def} \max\,(q^g_{m,def}, 0) \quad (171)$$

Le débit d'air traversant est le débit sortant par l'enveloppe à la température intérieure du groupe et avec l'humidité du groupe:

$$q^{g}_{m,traversant} = \sum_{EA} \min\ (q^{g}_{m,EA}, 0) + \sum_{def} \min\ (q^{g}_{m,def}, 0) \quad (172)$$

Les débits en sortant $q^{g}_{spec\_repris}$ et $q^{g}_{spec\_soufflé}$ sont les mêmes que ceux en entrée. Le débit spécifique soufflé est à la température spécifique du système de ventilation et le débit spécifique repris est à la température intérieure du groupe.

Une valeur positive de cette dernière correspond à un transfert d'air du groupe vers le Hall. Une valeur négative exprime un transfert d'air du Hall vers le groupe.

5.6.3.7 *Bilan thermique du Hall*

Pour chaque zone, l'utilisateur a la possibilité de rentrer un ou plusieurs groupes. Le modèle aéraulique implique l'existence d'un groupe d'échange aéraulique **Hall** par lequel transitent tous les échanges aérauliques entre les groupes. L'utilisateur a la possibilité de rentrer **au maximum** un groupe de circulation qui joue alors le rôle du groupe **Hall**. S'il n'en rentre pas, un groupe **Hall** fictif est généré par le logiciel pour le besoin du calcul. Ce groupe fictif est alors étanche à l'environnement extérieur et ne possède aucun système ni aucun apport interne. Il ne reçoit pas non plus d'apports énergétiques de quelque nature que ce soit et ne possède aucune inertie. Les seules grandeurs qui doivent être calculées au niveau de ce groupe fictif sont la température de l'air et l'humidité de l'air. Elles le sont de la manière suivante :

$$\theta^{hall}_{i,fin}(h) = \frac{\sum_j \theta_{aj}(h).\, Q_{maj}(h)}{\sum_j Q_{maj}}$$
$$\omega^{hall}_{i,fin}(h) = \frac{\sum_j \omega_{aj}(h).\, Q_{maj}(h)}{\sum_j Q_{maj}} \quad (1)$$

où Qmaj, $\theta_{aj}(h)$ et $\omega_{aj}(h)$ représenté les débits, températures et humidité spécifique de l'air en provenance des autres groupes de la zone.

5.6.3.8 *CALCUL DES SORTIES*

Dans le cas d'un groupe *g* qui n'est pas un hall :

- $\boldsymbol{Q^g_{maj}}$: il y en a autant que de débits d'air entrant. On compte donc un débit pour l'air neuf entrant par la transparence de l'enveloppe. Sa température est $\boldsymbol{T^g_{maj} = T_{ext}}$ et son humidité est $\boldsymbol{\omega^g_{maj} = \omega_{ext}}$.

- On compte un débit supplémentaire pour chaque débit spécifique soufflé s dans le groupe g. Leurs températures sont les températures $T^{g,s}_{air_souffle}$et leurs humidités sont $\omega^{g,s}_{air\_souffle}$.

- Enfin, si $q^g_{m,hall} > 0$, on le rajoute aux débits entrants avec une température qui est la température du hall et une humidité qui est l'humidité du hall $\omega_{i,g_{fin}}$où g dénote ici le hall.

Dans le cas d'un groupe *g* qui est un hall :

- $\boldsymbol{Q^g_{maj}}$: il y en a autant que de débits d'air entrant. On compte donc un débit pour l'air neuf par la transparence de l'enveloppe. Sa température est $\boldsymbol{T^g_{maj} = T_{ext}}$ et son humidité est $\boldsymbol{\omega^g_{maj} = \omega_{ext}}$.

- On compte un débit supplémentaire pour chaque débit spécifique soufflé s dans le groupe g. Leurs températures sont les températures $T^{g,s}_{air_souffle}$et leurs humidités sont $\omega^{g,s}_{air\_souffle}$.

- Enfin, on rajoute aux débits entrants chacun des $-q^g_{m,hall}$ si $q^g_{m,hall} < 0$. La température de ce débit est alors $T_{i,g}$ et son humidité est $\omega_{i,g_{fin}}$.

5.6.3.9 *Explicitation des termes $\boldsymbol{Q^g_{maj}}$ et $\boldsymbol{\omega^g_{maj}}$*

Ce paragraphe vise simplement à expliciter les termes Q^g_{maj} et ω^g_{maj}.

Quel que soit le groupe g :

$$\sum Q^g_{maj} = Q^g_{air\_neuf} + \sum q^g_{m,spécifique\_soufflé} + \sum q^{j\neq g}_{m,j}\ (si\ q^{j\neq g}_{m,j} > 0)$$

Soit pour un groupe autre que le Hall :

$$\sum Q^g_{maj} = q^g_{air\_neuf} + \sum q^g_{m,spécifique\_soufflé} + q^g_{m,Hall}(si\ q^g_{m,Hall} > 0) \qquad (173)$$

Pour le Hall :

$$\sum Q^g_{maj} = Q^g_{air\_neuf} + \sum q^g_{m,Hall}(si\ vu\ du\ Hall, q^g_{m,Hall} > 0)$$

Quel que soit le groupe :

$$\sum_j \omega_{maj} \times Q^g_{maj} = \omega_{ext} \times q^g_{air\_neuf} + \sum \omega_{spec} \times q^g_{m,spécifique\_soufflé} + \sum \omega_{i,j_{prev}} \times q^{j\neq g}_{m,j}$$

Soit pour un groupe autre que le Hall : *(174)*

$$\sum_j \omega_{maj} \times Q^g_{maj} = \omega_{ext} \times q^g_{air\_neuf} + \sum \omega_{spec} \times q^g_{m,spécifique\_soufflé} + \omega_{i,Hall_{prev}} \times q^g_{m,Hall}(si\ q^g_{m,Hall} > 0)$$

Pour le Hall :

$$\sum_j \omega_{maj} \times Q^g_{maj} = \omega_{ext} \times q^g_{air\_neuf} + \sum \omega_{spec} \times q^{Hall}_{m,spécifique\_soufflé} + \sum_g \omega_{i,j_{prev}} \times q^g_{m,Hall}\left(si\ vu\ du\ Hall, q^g_{m,Hall} > 0\right)$$

5.6.3.10 *Calcul des débits entrants et sortants du groupe*

Les débits sont exprimés en m^3/h.

5.6.3.10.1 Débits par les défauts d'étanchéité

A chaque pas de temps,

$$Q^g_{v,def,entr} = \sum_{def \in g} max\left(q_{v,def}(\Delta P),\ 0\right)$$
$$Q^g_{v,def,sort} = \sum_{def \in g} min\left(q_{v,def}(\Delta P),\ 0\right)$$

Où Q=débit total, sommé sur tous les composants du groupe…

5.6.3.10.2 Débits par les entrées d'air

A chaque pas de temps,

$$Q^g_{v,EA,entr} = \sum_i max\left(q^{g,i}_{v,EA}(\Delta P),\ 0\right)$$
$$Q^g_{v,EA,sort} = \sum_i min\left(q^{g,i}_{v,EA}(\Delta P),\ 0\right)$$

Où Q=débit total, sommé sur tous les composants du groupe…

5.7 S2_BAT_assemblage_groupe

5.7.1 INTRODUCTION

Le groupe est une partie d'un bâtiment homogène au plan de l'usage et du fonctionnement, ainsi c'est le lieu de calcul des besoins de chauffage, des besoins de refroidissement et des consommations de l'éclairage artificiel. En sortie du groupe les besoins de chauffage et les besoins de refroidissement sont dirigés vers le réseau de distribution intergroupes.

Ce niveau regroupe la quasi totalité des informations nécessaires à la prise en compte du bâti et des équipements intérieurs tels que l'éclairage et les dispositifs terminaux de ventilation.

Le groupe fait appel aux composants suivants :

- les saisons,
- les parois opaques,
- les ponts thermiques,
- les parois vitrées,
- l'éclairage,
- la ventilation,
- le comportement thermique du groupe,
- l'émission, le bilan hydrique du groupe,
- le calcul des indicateurs de confort destinés à la détermination des saisons au niveau du bâtiment, pour les équipements et les systèmes.

Finalement, à l'intérieur de groupes un traitement des résultats est effectué pour obtenir des données agrégées ou des cumuls.

La zone est une partie de bâtiment rassemblant un ou plusieurs groupes ayant le même usage. Au plan du fonctionnement et compte tenu de la définition de la zone, les différents groupes d'une même zone sont en connexion aéraulique. La structuration des groupes par rapport à ces échanges est la suivante

- une zone peut comporter un ou plusieurs groupes **standards,**
- une zone peut comporter 0 ou 1 groupe dit de **"circulation"**

Par convention, si on définit un groupe de circulation, les autres groupes sont connectés aérauliquement avec lui et seulement avec lui.

Le groupe est en relation avec des composants extérieurs :

- les données météorologiques,
- les scénarios, qui fournissent pour la zone les températures de consigne, les apports internes et les indicateurs de fonctionnement (ventilation, éclairage),
- la perméabilité, prise en compte au niveau de la zone, elle calcule les échanges aérauliques entre les groupes d'une même zone,
- les espaces tampons.

5.7.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 31 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées aux groupes.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Météo		*Données météorologiques*	
	I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
	Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
	ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
	γ	Hauteur du soleil	rd
	E_{Dn}	Eclairement naturel direct normal	Lux
	Edi	Eclairement naturel diffus horizontal	Lux
	Te_{ciel}	Température du ciel	°C
	Te	Température extérieure d'air sec	°C
	we	Poids d'eau	kg/kg as
	Teau	Température de l'eau froide	°C
	Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s
	Dir_{vent}	Direction du vent	deg
	IHJ	Heure du jour en temps solaire moyen	-
saison	$Saison_{eff}^{gr}(j)$	*Choix des saisons* La saison effective à appliquer au groupe au jour j, sous forme d'entier : 1: saison de refroidissement ; 2: mi-saison ; 3: saison de chauffe avec interdiction de refroidir ; 4 : saison de chauffe avec autorisation de refroidir.	Ent.
scénarios	i_{occ_zone}	Données issues des scénarios Indice d'occupation de la zone 0 = zone inoccupée 1 = zone occupée	-
	I_{Ecl}	Indice d'occupation de la zone dans laquelle se situe le groupe 0 = zone inoccupée, éclairage autorisé 1 = zone occupée, éclairage non autorisé *Cet indice correspond aux plages d'occupation données par les scénarios conventionnels.*	-
	I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
		Données issues du groupe au pas précédent	
	θ_{iifr}	Température de consigne initiale de refroidissement	°C
	θ_{iich}	Température de consigne initiale de chauffage	°C
	$\phi_{int,conv}^{g}$	Apports internes convectif hors-occupants et éclairage d'un groupe g	W
	$\phi_{int,rad}^{g}$	Apports internes radiatifs hors-occupants et éclairage d'un groupe g	W
	$\phi_{int\_occ,conv}^{g}$	Apports internes convectif dus aux occupants d'un groupe g	W
	ω_{int}^{g}	Apport d'humidité hors-occupants au groupe g	kg/h
	$\omega_{int\_occ}^{g}$	Apport d'humidité dus aux occupants au groupe g	kg/h

	$\phi^{g}_{\text{int\_}occ,rad}$ w_{int}	Apports internes radiatifs dus aux occupants d'un groupe g	W	-∞	+∞	-
		Données calculées au pas précédent				
Groupe (t-1)	$\theta_{op,fin}$ (h-1)	Température ressentie par l'occupant à la fin du pas de temps	°C			
	$\theta_{op,fin}$ (h-2)	Température ressentie par l'occupant au pas de temps h-2.	°C			
	θ_i (h-1)	Température intérieure de l'air du groupe considéré, au pas de temps h-1.	°C			
	γ'	Hauteur du soleil corrigée	°			
	$Nbh_{Einat\_sup(t-1)}$	Nombe d'heures pendant lesquelles Einat est supérieu à $Seuil_{auto\_lumi}$ en occupation au pas précédent	h			
	$\theta_m^{(t-\Delta t)}$	Température de masse finale au pas de temps précédent	°C			
	$\{\theta_{ei}(h)\}_{j-1}$	Valeurs des températures extérieures sur l'ensemble du jour précédent.	°C			
		Espaces tampons				
baies	$\{nb\_esp\_tp^{b}$	Nombres d'espaces tampons différents reliés aux baies d'indice b reliées à l'espace tampon i.	-			
	$\{Aouv\,max\_t\,p_i^b(h)\}_b$	Surfaces maximales d'ouverture des parois de l'espace tampon attribuées aux différentes baies reliées à l'espace tampon i (au prorata de leurs surfaces d'ouverture respectives).	m²			
Tout composant	$b_{therm,i}(h)$	Coefficient de réduction des déperditions thermiques dû à la présence de l'espace tampon *i*.	-			
	$b_{solaire,i}(h)$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon i.	-			
	$b_{ecl,i}(h)$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon i (concerne uniquement les baies vitrées).	-			
		Ventilation perméabilité				
ventilation	Q^{g}_{maj}	Débit massique j entrant dans le groupe g	kg/s			
	T^{g}_{maj}	Température du débit massique j entrant dans le groupe g	°C			
	ω^{g}_{maj}	Poids d'eau du débit massique j entrant dans le groupe g	kg/kg as			
	$Q^{g}_{v,def,entr}$	Au pas temps horaires, débit entrant dans le groupe via les défauts d'étanchéités	m^3/h			
	$Q^{g}_{v,EA,entr}$	Au pas temps horaires, débit entrant dans le groupe via les entrées d'air	m^3/h			
	$Q^{g}_{v,def,sort}$	Au pas temps horaires, débit sortant dans le groupe via les défauts d'étanchéités	m^3/h			
	$Q^{g}_{v,EA,sort}$	Au pas temps horaires, débit sortant dans le groupe via les entrées d'air	m^3/h			
	$\rho_{i,g}$	Masse volumique de l'air du pas de temps h, calculée à partir de la température $\theta_{i,g\,prev}$ et de l'humidité spécifique wi,gprev du pas de temps h-1	kg/m^3			

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Parois opaques : voir fiche Assemblage des parois opaques Ponts thermiques : voir fiche Assemblage des ponts thermiques Baies vitrées : voir fiche Assemblage des baies vitrées Eclairage : voir fiche Eclairage Ventilation spécifique : voir fiche ventilation spécifique Bilan hydrique : voir fiche bilan hydrique Comportement thermique : voir fiche comportement thermique du groupe Emission : voir fiche émission Indicateurs de confort : voir fiche indicateurs de confort Calculs du groupe : voir fiche calcul du groupe				

Sorties

Nom	Description	Unité
Bch_m^{gr}	Besoins mensuels en chaud du groupe	kWh/m² SREF^{gr}
Bch^{gr}	Besoins annuels en chaud du groupe	kWh/m²SREF^{gr}
Bfr_m^{gr}	Besoins mensuels en froid du groupe	kWh/m²SREF^{gr}
Bfr^{gr}	Besoins annuels en froid du groupe	kWh/m²SREF^{gr}
$Becl_m^{gr}$	Besoins mensuels d'éclairage du groupe	kWh/m²SREF^{gr}
$Becl^{gr}$	Besoins annuels d'éclairage du groupe	kWh/m²SREF^{gr}
$Bbio_m^{gr}$	Besoin bioclimatique mensuel du groupe	points
$Bbio^{gr}$	Besoin bioclimatique annuel du groupe	points
$Becs_m^{gr}$	Besoins mensuels bruts d'ECS du groupe	Wh/m² SREF^{gr}
$Becs^{gr}$	Besoins annuels bruts d'ECS du groupe	Wh/m² SREF^{gr}
A_T^{gr}	Somme des parois déperditives du groupe	m²
$A_{T,perm}^{gr}$	Somme des parois déperditives excepté le plancher bas du groupe (utile pour les calculs de perméabilité)	m²
$A_{f,perm}^{gr}$	Somme des parois déperditives verticales du groupe (utile pour les calculs de perméabilité)	m²
$A_{toit,perm}^{gr}$	Somme des parois déperditives horizontales excepté le plancher bas du groupe (utile pour les calculs de perméabilité)	m²
A_{opv}^{gr}	Surfaces des parois déperditives opaques verticales du groupe	m²
A_{oph}^{gr}	Surfaces des parois déperditives opaques horizontales du groupe	m²
$A_{baies-v}^{gr}$	Surface totale des baies verticales du groupe	m²
$A_{baies-h}^{gr}$	Surface totale des baies horizontales du groupe	m²

Vers fiches « calculs zone » et « sorties_fiche_XML » »

détermination saisons	$\overline{Q_{v,def,entr}^{g}}$	Moyenne (en occupation) du débit volumique entrant par tous les défauts d'étanchéité du groupe	m^3/h
	$\overline{Q_{v,def,sort}^{g}}$	Moyenne (en occupation) du débit volumique sortant par tous les défauts d'étanchéité du groupe	m^3/h
	$\overline{Q_{v,EA,entr}^{g}}$	Moyenne (en occupation) du débit volumique entrant par toutes les entrées d'air du groupe	m^3/h
	$\overline{Q_{v,EA,sort}^{g}}$	Moyenne (en occupation) du débit volumique sortant par toutes les entrées d'air du groupe	m^3/h
	$\overline{Q_{v,spec,entr}^{g}}$	Moyenne (en occupation) de la somme des débits volumiques spécifiques entrants dans le groupe	m^3/h
	$\overline{Q_{v,spec,sort}^{g}}$	Moyenne (en occupation) de la somme des débits volumiques spécifiques sortants du groupe	m^3/h
	$\{Q_{req,gen,ch}(h)\}_{j-28\ ;j-1)}$	Ensemble des sommes des différentes valeurs des demande en énergie de chauffage au niveau des générations du projet, jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	Wh
	$\{Q_{req,gen,fr}(h)\}_{j-28\ ;j-1)}$	Ensemble des sommes des différentes valeurs des demande en énergie de refroidissement au niveau des générations du projet, du jour j-28 au jour j-1 inclus (672 pas de temps).	Wh
calculs annuels	$C_{ef\_fr}^{gr}$	Energie finale totale consommée pour le refroidissement dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SREF.an
	$C_{ef\_ecs}^{gr}$	Energie finale totale consommée pour l'ECS dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SREF.an
	$C_{ef\_ecl}^{gr}$	Energie finale totale consommée par l'éclairage artificiel des locaux dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SREF.an
	$C_{ef\_auxv}^{gr}$	Energie finale totale consommée par les auxiliaires de ventilation (et ventilateurs des émetteurs) pour l'année entière.	Wh/m²SREF.an
	$C_{ef\_auxs}^{gr}$	Energie finale totale consommée par les auxiliaires de distribution pour l'année entière.	Wh/m²SREF.an
calculs mensuels	$C_{ef\_ch\_m}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée pour le chauffage dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois
	$C_{ef\_fr\_m}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée pour le refroidissement dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois
	$C_{ef\_ecs\_m}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée pour l'ECS dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois
	$C_{ef\_ecl\_m}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée par l'éclairage artificiel des locaux dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois
	$C_{ef\_auxv}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée par les auxiliaires de ventilation (et ventilateurs des émetteurs) pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois
	$C_{ef\_auxs}^{gr}(m)$	Energie finale totale consommée par les auxiliaires de distribution pour le mois *m*.	Wh/m²SREF.mois

CEP annuels	$C_{ep\_ch}^{gr}$	Energie primaire totale consommée pour le chauffage dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ep\_fr}^{gr}$	Energie primaire totale consommée pour le refroidissement dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ep\_ecs}^{gr}$	Energie primaire totale consommée pour l'ECS dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ep\_ecl}^{gr}$	Energie primaire totale consommée par l'éclairage artificiel des locaux dans le groupe pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ep\_auxv}^{gr}$	Energie primaire totale consommée par les auxiliaires de ventilation (et ventilateurs des émetteurs) pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ep\_auxs}^{gr}$	Energie primaire totale consommée par les auxiliaires de distribution pour l'année entière.	Wh/m²SRE.an
CEP mensuels	$C_{ep\_ch\_m}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée pour le chauffage dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
	$C_{ep\_fr\_m}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée pour le refroidissement dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
	$C_{ep\_ecs\_m}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée pour l'ECS dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
	$C_{ep\_ecl\_m}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée par l'éclairage artificiel des locaux dans le groupe pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
	$C_{ep\_auxv}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée par les auxiliaires de ventilation (et ventilateurs des émetteurs) pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
	$C_{ef\_auxs}^{gr}(m)$	Energie primaire totale consommée par les auxiliaires de distribution pour le mois *m*.	Wh/m²SRE.mois
Cef par énergie	$C_{ef\_gaz}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation du gaz pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ef\_fod}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation du fioul domestique pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ef\_cha}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation du charbon pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ef\_boi}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation du bois pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ef\_ele}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation de l'électricité pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
	$C_{ef\_rdc}^{gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation des réseaux de chaleur pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an
par énerg	$C_{ep\_gaz}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation du gaz pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE.an

$C_{ep\_fod}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation du fioul domestique pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE F.an
$C_{ep\_cha}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation du charbon pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE F.an
$C_{ep\_boi}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation du bois pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE F.an
$C_{ep\_ele}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation de l'électricité pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE F.an
$C_{ep\_rdc}^{gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation des réseaux de chaleur pour le groupe sur l'année entière.	Wh/m²SRE F.an
C_{ef}^{gr}	Energie finale totale consommée par le groupe pour l'année entière, ramenée au m² de SREF.	Wh/m²SRE F.an
C_{ep}^{gr}	Energie finale totale consommée par le groupe pour l'année entière, ramenée au m² de SREF.	Wh/m²SRE F.an

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 31 : Nomenclature du modèle

5.7.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Les schémas des figures ci-dessous présentent l'organisation des composants pour l'ensemble d'un groupe :

- la Figure 23 dans le cas du calcul Bbio,
- la Figure 24 dans le cas du calcul Cep.

Le calcul de Cep reprend les mêmes composants que le calcul de Bbio avec cependant :

- le calcul de l'émission qui correspond alors au projet,
- la prise en compte de la relance du système de chauffage refroidissement en fin de période d'inoccupation,
- la présence d'un réseau de distribution de groupe de chaleur et de distribution de froid,
- le calcul des besoins d'ECS et la présence d'un réseau de distribution de groupe d'ECS.

La prise en compte des systèmes de ventilation est à l'extérieur du groupe.

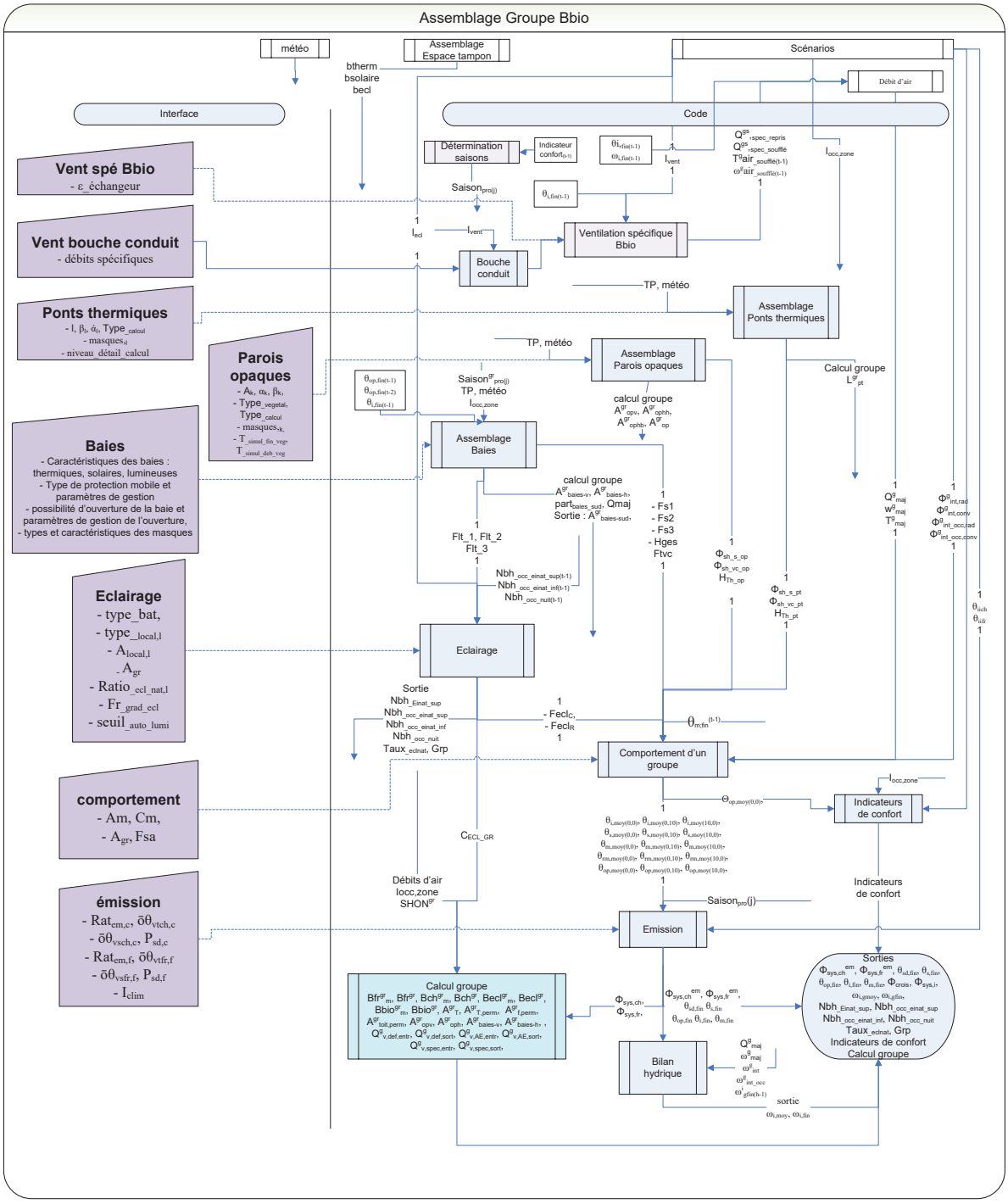


Figure 23 : Assemblage des composants d'un groupe pour le calcul de Bbio

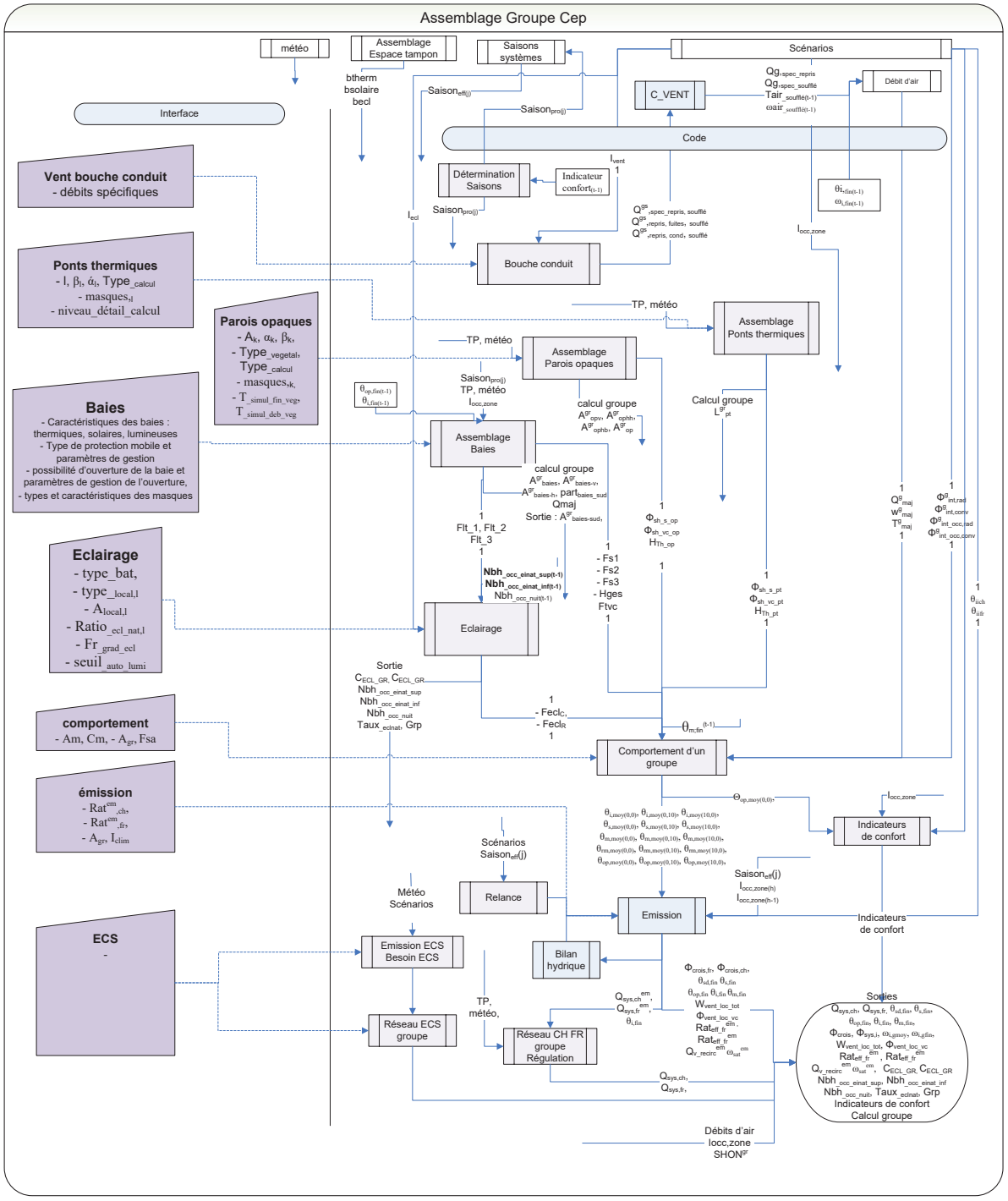


Figure 24 : Assemblage des composants d'un groupe pour le calcul de Cep

L'assemblage est organisé en trois parties verticales :

- à gauche du trait vertical dans la partie interface, on trouve les paramètres d'intégration des différents composants ou des assemblages intervenant dans le groupe, leurs paramètres intrinsèques étant définis dans leurs fiches algorithmes,

- à droite dans la partie code, on trouve l'organisation proprement dite des différents composants. Chaque composant est relié aux autres par des flèches symbolisant les échanges de données. Ces données, qui correspondent soit aux données de sortie soit aux données d'entrée des composants, sont précisées sur les flèches.

- dans la partie supérieure droite, on distingue les composants hors du groupe mais en relation avec lui :

  le climat qui fournit les données météorologiques,

  les espaces tampons : vérandas, serres, locaux non chauffés en contact avec les locaux chauffés objet du calcul réglementaire,

  les scénarios, définis au niveau des zone,

  le calcul de la perméabilité à l'air et des échanges aérauliques entre groupes conduit au niveau de la zone,

  pour CEP, la ventilation et les saisons pour les systèmes.

Le détail de chaque composant ou de chaque assemblage est au niveau de chaque fiche algorithme.

- L'enchaînement des calculs dans le groupe est le suivant :

'bouche conduit' :

Ce composant détermine le débit soufflé et le débit repris, le débit de fuite du réseau pour une bouche compte tenu des scénarios et de la nature du système.

Ces données sont utilisées par les systèmes de ventilation et le composant 'débit d'air'. Ce dernier envoie les débits, les températures et les humidités pour l'ensemble des bouches du groupes, nécessaires à la suite des calculs dans le groupe.

'ventilation spécifique Bbio' :

Ce composant représente le système de ventilation conventionnel pour le calcul du coefficient Bbio. Il est dans le groupe.

'assemblage 'Parois opaques' :

Il est constitué de 'environnement proche' et de 'paroi opaque'. En relation avec la météo et les espaces tampons il calcule d'une part les flux de chaleur dû au rayonnement solaire et dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe et d'autre part le coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des parois opaques.

'assemblage 'Ponts thermiques' :

Même principe.

‘assemblage baies’ :

Il fait intervenir ‘environnement proche’, ‘gestion régulation de l’ouverture des baies’, ‘gestion et régulation des protections solaires’, ‘baies vitrées’, ‘calcul du débit par ouverture des baies’ et ‘ensemble baies’. En relation avec la météo et les espaces tampons il calcule d’une part les flux de chaleur dû au rayonnement solaire (trois composantes) et dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe et d’autre part le coefficient de transmission thermique global de l’ensemble des parois opaques. Sont calculés également les flux lumineux transmis au groupe pour le composant éclairage.

‘éclairage’ :

En relation avec la météo, les espaces tampons et les l’assemblage baies il calcule la consommation d’éclairage ainsi que les rejets thermiques, pris en compte dans le comportement du groupe. Les flux lumineux, calculés par ‘assemblage baies’, entrant dans le groupe permettent de calculer le niveau d’éclairement naturel dans le groupe et ainsi de représenter la gestion des systèmes d’éclairage.

‘comportement thermique du groupe’ :

Est lié aux composants de l’enveloppe à l’éclairage et à la ventilation et calcule le comportement du groupe sous forme d’une matrice de température destinée à ‘émission’.

‘indicateurs de confort’ :

On détermine l’état du confort thermique des occupants afin de calculer les débuts des saisons de chauffage et de refroidissement.

‘détermination des saisons’ :

Sur la base des indicateurs de confort et des besoins du groupe, sont calculées les saisons de chauffage et de refroidissement pour le groupe.

‘détermination des saisons des systèmes’ :

Sont calculées les saisons de chauffage et de refroidissement à l’échelle des systèmes de production d’énergie (génération). Le calcul est réalisé au niveau du projet.

‘émission’ :

Se fondant sur le comportement du groupe et les températures de consigne, détermine les besoins de chauffage et de refroidissement compte tenu de la saison.

‘bilan hydrique’ :

Le bilan hydrique du groupe est réalisé, pour le calcul de Cep il est fait en relation avec l’émission.

‘relance’ :

Commande la relance des installations de chauffage et de refroidissement du groupe en anticipation d’une période d’occupation.

‘calculs groupe’ :

‘calcul groupe’ effectue un post traitement des sorties du groupes : cumuls mensuels, annuels, calcul du Bbio.

5.8 **S1_BAT_assemblage_baies**

5.8.1 INTRODUCTION

Six fiches algorithmes liées aux baies sont assemblées :

- la fiche baies (calcul des flux solaires et lumineux transmis au groupe, rayonnement vers la voûte céleste, calcul du coefficient de transmission thermique global)

- gestion des protections mobiles (calcul du ratio de baies avec la première protection mobile et éventuellement le ratio de baies avec une seconde protection mobile)

- gestion-régulation de l'ouverture des baies (calcul du ratio d'ouverture des baies)

- environnement proche (calcul des flux solaires et lumineux incidents en tenant compte des masques proches et lointains, et calcul de la densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi)

- calcul des débits par ouverture des baies

- ensemble baies (sommation sur toutes les baies du groupe des flux solaires et lumineux transmis au groupe, de Hges, etc.)

5.8.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 32 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées aux baies.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
saison	$Saison_{eff}^{gr}(j)$	La saison effective à appliquer au groupe au jour j, sous forme d'entier : 1: saison de refroidissement ; 2: mi-saison ; 3: saison de chauffe avec interdiction de refroidir ; 4 : saison de chauffe avec autorisation de refroidir.	Ent.
Groupe	$\theta_{op,fin}$ (h-1)	Température ressentie par l'occupant à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{op,fin}$ (h-2)	Température ressentie par l'occupant au pas de temps h-2.	°C
	θ_i *(h-1)*	Température intérieure de l'air du groupe considéré, au pas de temps h-1.	°C
Climat ext. (pour la fiche Env. proche)	*γ'*	Hauteur du soleil corrigée	°
	I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
	Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
	ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
	γ	Hauteur du soleil	rd
	E_{Dn}	Eclairement naturel direct normal	Lux
	Edi	Eclairement naturel diffus horizontal	Lux
	Te_{ciel}	Température du ciel	
	Te	Température extérieure d'air sec	°C
	we	Poids d'eau	g/kgas
	Dir_{vent}	Direction du vent	°
	V_{vent_c}	La vitesse du vent corrigée	m/s
Scénarios conv.	*Jour_année*	jour de l'année (1 à 365)	-
	Hleg	heure légale de la journée (1 à 24)	-
	i_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone 0 = zone inoccupée 1 = zone occupée	-
Espace tampon	$b_{therm,i,b}$	Coefficient de réduction des déperditions thermique dû à la présence de l'espace tampon *i* sur la baie vitrée *b*	-
	$b_{ecl,i,b}$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon i sur la baie vitrée *b*	-
	$b_{solaire,i,b}$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon *i* sur la baie vitrée *b*	-

Id_{ET}	Indicateur de présence d'un espace tampon sur la baie vitrée *b* (0-pas d'espace tampon / 1-présence d'un espace tampon)	-

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_EEX_environnement_proche Voir fiche C_BAT_Gestion_protections_mobiles Voir fiche C_BAT_Baie vitrée Voir fiche C_BAT_Surventilation naturelle par ouverture des baies pour le confort thermique Voir fiche C_BAT_ensemble_baies				

Sorties

Nom	Description	Unité
Hg_{es}	Facteur de transmission thermique global pour l'ensemble des baies du groupe entre les environnements intérieurs et extérieurs	W/K
Fs_1	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde	W
Fs_2	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W
Fs_3	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
Ftvc	Flux transmis dû au rayonnement froid vers la voute céleste pour l'ensemble des baies du groupe	W
$Flt_{1(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contribuant à l'éclairement naturel d'un grand volume non éclairé de façon uniforme.	lumen
$Flt_{1(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	lumen
$Flt_{1(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 2, c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	lumen
$Flt_{2(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contribuant à l'éclairement naturel d'un grand volume non éclairé de façon uniforme.	
$Flt_{2(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	
$Flt_{2(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 2,	

	c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	
$Flt_{3(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contribuant à l'éclairement naturel d'un grand volume non éclairé de façon uniforme.	
$Flt_{3(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi-hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	
$Flt_{3(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi-hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 2, c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	
$Part_{baies\_sud}$	Pourcentage de baies du groupe orientées au sud (azimuth α =0°)	-
A_{baies}^{gr}	Surface totale des baies du groupe	m²
$A_{baies-v}^{gr}$	Surface totale des baies verticales du groupe	m²
$A_{baies-h}^{gr}$	Surface totale des baies horizontales du groupe	m²
$Qma_j(h)$	Débit massique d'air entrant dans le groupe par les baies, à la température θ_{ei} (h).	kg/s

Variables internes

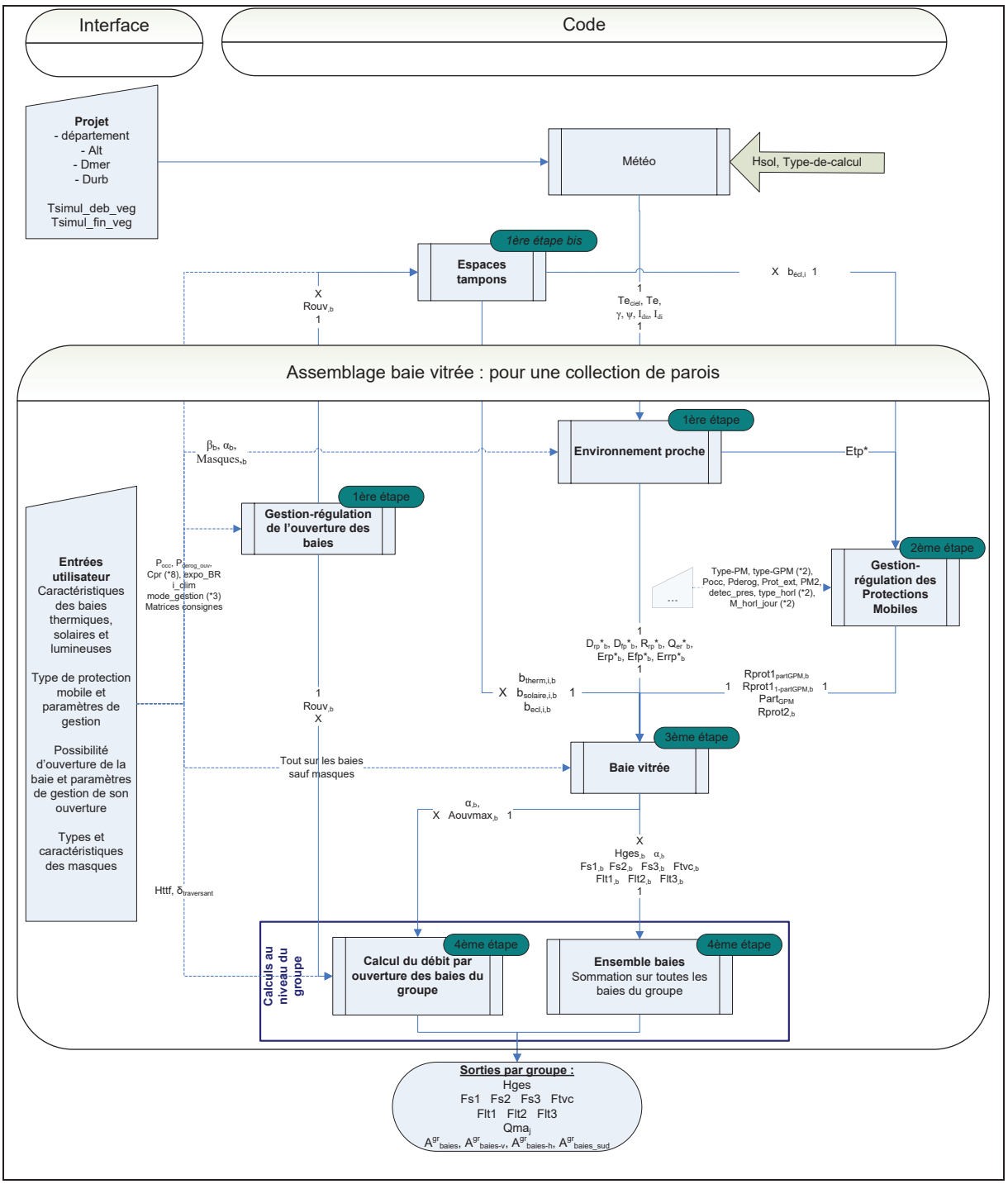
Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 32 : Nomenclature du modèle

5.8.3 *ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS*



Note : en dehors des six fiches constituant l'assemblage baies (détaillées ci-dessous), seules les fiches algorithme sur la météo et les espaces tampons sont représentées, car elles sont étroitement liées à toutes les fiches de l'assemblage.

En sortie de la fiche baie les flux lumineux sont affectés d'un indice en fonction du type de baie. En l'occurrence il s'agit de Flt1,b(n) avec n qui prend la valeur 0, 1 ou 2.

En sortie de groupe les trois types de flux ressortent distinctement après la somme sur l'ensemble des baies du même type au sein d'un groupe : Flt1(n) avec n qui prend la valeur 0, 1 ou 2.

5.8.3.1 *Description de l'assemblage*

Six fiches composent l'assemblage baies :

- baies vitrées;
- gestion-régulation des protections mobiles ;
- gestion-régulation de l'ouverture des baies ;
- environnement proche ;
- calcul des débits par ouverture des baies ;
- ensemble baies.

Pour chaque pas de temps et pour un élément baie (ensemble vitrage + menuiserie + protections mobiles), voici les étapes du calcul :

1) Première étape : conditions en amont de la baie

La fiche algorithme « environnement proche » calcule les flux lumineux et solaires incidents sur l'ensemble des baies du groupe (nécessite une remontée d'informations des paramètres d'intégration de chaque baie pour calculer uniquement les flux utiles).

Dans le même temps, la fiche algorithme « gestion-régulation de l'ouverture des baies » détermine le ratio surfacique d'ouverture de la baie ou des espaces tampons au pas de temps *h*.

A la suite de ces calculs, la fiche « espaces tampons » (positionnée au niveau du bâtiment), envoie aux algorithmes de l'assemblage baies les trois coefficients *b* dynamiques. En cas de surventilation d'un espace tampon (forcément vitré par définition), le coefficient $b_{therm,i,b}$ est supposé égal à 1.

2) Deuxième étape : calcul des ratios de protections mobiles

Dans la fiche algorithme « gestion des protections mobiles » se calculent des paramètres qui viendront modifier les caractéristiques physiques de la baie (calculs des ratios de fermeture de l'élément baie pour la première et éventuellement pour la seconde protection mobile,…).

3) Troisième étape : calculs au niveau d'une baie

La fiche algorithme « baies » calcule les flux lumineux et solaires transmis au groupe, à partir des paramètres précédents et des paramètres intrinsèques de la baie avec ou sans les protections mobiles qui lui sont associées. Les flux lumineux disposent d'un indice en fonction du type de baie. En effet leur contribution à l'éclairement du local dépendra du type de baie c'est-à-dire la disposition de la baie en fonction des locaux du groupe.

4) Quatrième étape : calculs au niveau du groupe

Enfin, la fiche algorithme « ensemble baies » fait la sommation, sur toutes les baies du groupe, des flux lumineux et solaires transmis au groupe par une baie, de la surface maximale d'ouverture ainsi que des calculs relatifs à l'intégration des baies dans le groupe (pourcentage de baies au Sud, etc.). les flux lumineux sont additionnés en fonction de leur type (diffus, direct, réfléchi) et en fonction du type de baie. Selon le type ils seront affectés ou non à un local selon la procédure décrite dans le chapitre dédié à l'éclairage.

Parallèlement, la fiche « calcul des débits par ouverture des baies » évalue les débits d'air par ouverture des baies au niveau du groupe, en fonction des orientations et des surfaces maximales

d’ouverture des baies.

5.9 C_BAT_Gestion_protections_mobiles

5.9.1 INTRODUCTION

Cette fiche a pour objectif le calcul des ratios surfaciques de baie protégée par la première protection mobile (PM1) et/ou par la seconde protection mobile (PM2). Ces ratios de surface sont associés à la baie et évoluent à chaque pas de temps.

La Gestion des Protections Mobiles (GPM) doit permettre de déterminer :

- les types de gestion ;
- quand appliquer ces types de gestion ;
- comment appliquer ces types de gestion.

En termes de protections, la baie est caractérisée par deux protections mobiles, dont on définit les types :

- la première protection mobile (PM1) est de type volet, store enroulable ou store orientable (vénitien). Elle est également caractérisée par sa position (intérieure ou extérieure). Le store vénitien n'est permis que pour les baies verticales.

- la seconde protection mobile (PM2) vient en complément de la première et a une unique fonction d'anti-éblouissement. Sa gestion est manuelle et sa position intérieure.

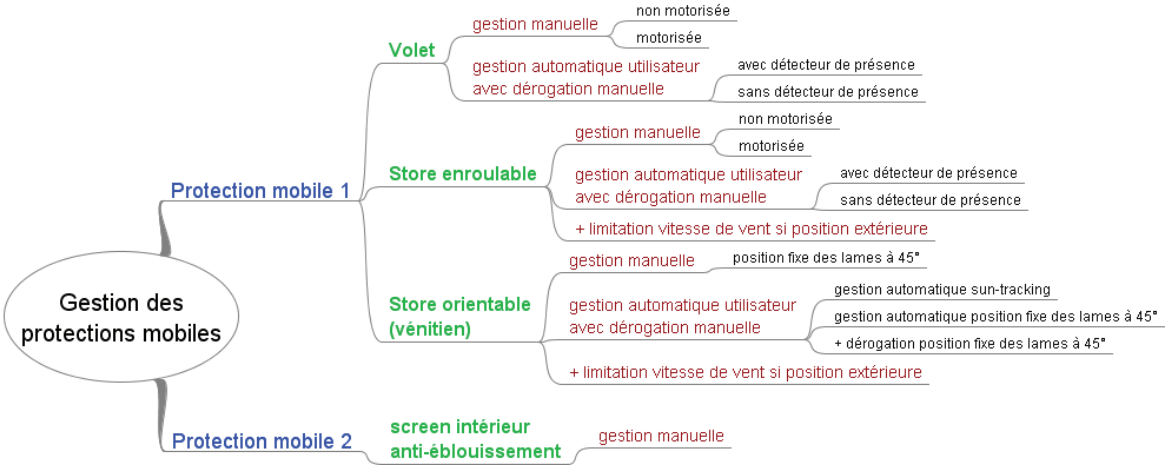


Figure 25 : Modes de gestion par type de protection mobile

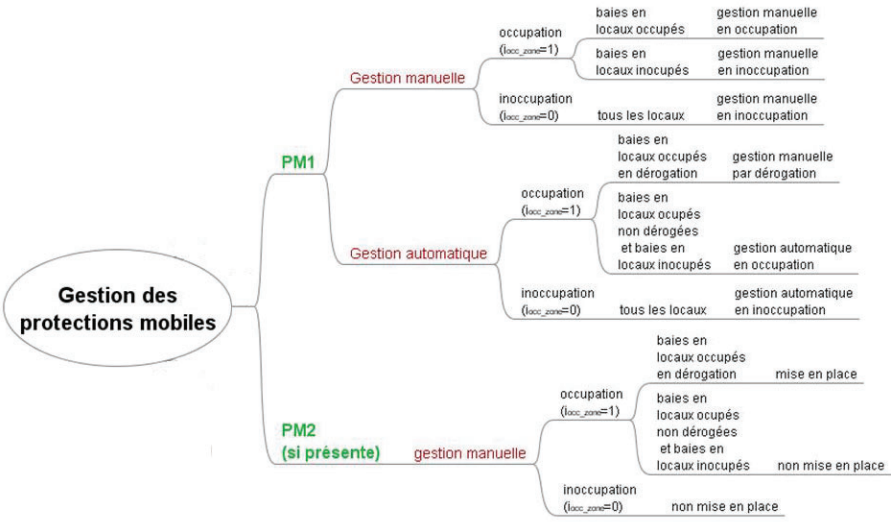


Figure 26 : Répartition des modes de gestion

5.9.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 33 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de gestion des protections mobiles.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Saison	$Saison^{gr}(j)$	La saison propre au groupe au jour j, sous forme d'entier : 1 : saison de refroidissement ; 2 : mi-saison ; 3 : saison de chauffe avec interdiction de refroidir ; 4 : saison de chauffe avec autorisation de refroidir.	Ent.
Env.proche	*Etp**	Eclairement incident total sur la baie, sans prise en compte du (des) espace(s) tampon(s)	lux
	V_{vent_c}	Vitesse du vent corrigée	m/s
Groupe	$\theta_{op\_fin}(h-1)$	Température ressentie par l'occupant à la fin du pas de temps précédent	°C
Climat ext.	$Is_{conf\_adapt}(h)$	Est-on en période de confort adaptatif (en mode Th-D) ?	°C
	$Is_{periode\_chaude}(h)$	Est-on en période chaude ?	°C
Scénarios conv.	*Jour_année*	Jour de l'année (1 à 365)	-
	h_{leg}	Heure légale de la journée (1 à 24)	-
	i_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone 0 = zone inoccupée 1 = zone occupée *Cet indice correspond aux plages d'occupation données par les scénarios conventionnels.*	-
	i_{occ_gpm}	Indice d'occupation de la zone pour la gestion des protections mobiles -1 = zone inoccupée la nuit ou en vacances 0 = zone inoccupée le jour 1 = zone occupée *Cet indice correspond aux plages d'occupation données par les scénarios conventionnels.*	-
Espace T	$b_{ecl,i,b}$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon i sur la baie vitrée *b*	-
	Id_{ET}	Indicateur de présence d'un espace tampon sur la baie vitrée *b* (0-pas d'espace tampon / 1-présence d'un espace tampon)	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
B	Indice indiquant qu'il s'agit de la baie vitrée b	-	-	-	-
z	Indice indiquant qu'il s'agit de la zone	-	-	-	-
v	Indice indiquant que la première protection mobile est de type volet	-	-	-	-
se	Indice indiquant que la première protection mobile est de type store enroulable	-	-	-	-

sv	Indice indiquant que la première protection mobile est de type store vénitien	-	-	-	-
$Tli_{ap\_dir,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct pour la partie de la baie vitrée b avec protection mobile	-	0	1	-
$Tld_{ap\_dif,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident diffus de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b	-	0	1	-
$Tld_{ap\_ref,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b	-	0	1	-
	Pour les PM1 de type volet ou store enroulable				
	Pour la gestion automatique				
Eclim_auto	Seuil d'éclairement incident pour la gestion automatique	lux	0	+∞	-
Toph-1limh_auto	Limite haute pour la température opérative moyenne de l'heure précédente, utilisée en gestion automatique	°C	-∞	+∞	-
Toph-1limb_auto	Limite basse pour la température opérative moyenne de l'heure précédente, utilisée en gestion automatique	°C	-∞	+∞	-
Vventlim_auto	Seuil de vitesse de vent pour laquelle la protection (extérieure) est remontée, utilisée en gestion automatique	m/s	0	+∞	-
M_Rprot1_auto	Matrice pour calculer le ratio de fermeture des volets ou des stores enroulables, en occupation et en inoccupation, pour la gestion automatique	-	[0]	[1]	-
	Pour la gestion manuelle				
Topj-1lim_manu_v[z]	Limite haute pour la température opérative moyenne du jour précédent, en gestion manuelle lorsque la protection est de type volet	°C	-∞	+∞	26.5
Topj-1lim_manu_se[z]	Limite haute pour la température opérative moyenne du jour précédent, en gestion manuelle lorsque la protection est de type store enroulable	°C	-∞	+∞	26.5
Vventlim_manu_se	Seuil de vitesse de vent pour lequel la protection (extérieure) de type store enroulable est remontée	m/s	0	+∞	10
M_Rprot1_manu_occ_v[z]	Matrice pour calculer le ratio de fermeture des volets en occupation et pour la gestion manuelle	-	-	-	-
M_Rprot1_manu_occ_se[z]	Matrice pour calculer le ratio de fermeture des stores enroulables en occupation et pour la gestion manuelle	-	-	-	-
M_Rprot1_manu_inocc_v[z]	Matrice pour calculer le ratio de fermeture des volets en inoccupation et pour la gestion manuelle	-	[0]	[1]	-
M_Rprot1_manu_inocc_se[z]	Matrice pour calculer le ratio de fermeture des stores enroulables en inoccupation et pour la gestion manuelle	-	[0]	[1]	-
M_Ecl2_occ1_v[z]	Matrice de seuils d'éclairement pour lesquels la seconde protection mobile est entièrement fermée en occupation, lorsque la première protection mobile est de type volet	[lux]	[0]	[+∞]	-
M_Ecl2_occ1_se[z]	Matrice de seuils d'éclairement pour lesquels la seconde protection mobile est entièrement fermée en occupation, lorsque la première protection mobile est de type store enroulable	[lux]	[0]	[+∞]	-
	Pour les PM1 de type store vénitien				
	Pour la gestion automatique				
Eclim_auto_sv	Seuil d'éclairement incident pour la gestion automatique	lux	0	+∞	-
Vventlim_auto_sv	seuil de vitesse de vent limite pour lequel les stores vénitiens (extérieurs) sont remontés en gestion automatique	m/s	0	+∞	-

M_Rprot1_auto_sv	Matrice des ratios de fermeture des stores vénitiens, en occupation et en inoccupation, pour la gestion automatique	-	[0]	[1]	-
	Pour la gestion manuelle				
Eclim_manu_sv	Seuil d'éclairement incident pour la gestion manuelle	lux	0	+∞	15000
Vventlim_manu_sv	seuil de vitesse de vent limite pour lequel les stores vénitiens (extérieurs) sont remontés en gestion manuelle	m/s	0	+∞	10
M_Rprot1_manu_sv[z]	Matrice des ratios de fermeture des stores vénitiens, en occupation et en inoccupation, pour la gestion manuelle	-	[0]	[1]	-
M_Ecl2_occ1_sv[z]	Matrice de seuils d'éclairement pour lesquels la seconde protection mobile est entièrement fermée en occupation, lorsque la première protection mobile est de type store vénitien	[lux]	[0]	[+∞]	-
	Pour les PM2 (quelque soit PM1)				
$Rprot2_{1\text{-}partGPM}$	Ratio de surface de baies protégées par la seconde protection mobile en inoccupation	-	0	1	-
Rprot2_occ0	Ratio de surface de baies protégées par la seconde protection mobile pour un éclairement nul	-	0	1	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone (utilisée pour les données conventionnelles)	-	1	31	-
Pocc[z]	Part des baies en groupe occupé pour lesquelles un occupant peut agir manuellement	-	0	1	-
Pderog[z]	Part des baies dans les locaux occupés dont les protections mobiles sont en dérogation manuelle	-	0	1	-
Choix_PM_GPM	Type de PM et de gestion associée (0-pas de PM/ 1 à 3-volet / 4 à 6-store enroulable / 6 à 9-store vénitien)	-	0	9	-
$Prot_{ext}$	Protection intérieure (=faux) ou extérieure (=vrai)	Bool	Faux	Vrai	-
PM2	Présence d'une seconde protection mobile	Bool	Faux	Vrai	-
	Pour les PM1 de type volet ou store enroulable				
Type-GPM	Type de gestion de la première protection mobile de type volet ou store enroulable (=1 si automatique avec dérogation, =2 si gestion manuelle non motorisée, =3 si gestion manuelle motorisée)	-	1	3	-
Detec_pres	Présence d'un détecteur de présence (pour la dérogation manuelle), pour des protections de type volet ou store enroulable	Bool	Faux	Vrai	-
Type_horl	Type d'horloge pour la distinction jour/nuit en gestion automatique (0-pas de distinction jour/nuit / 1-horloge crépusculaire / 2-horloge personnalisable), pour des protections de type volet ou store enroulable	-	0	2	-
M_horl_jour	Matrice des heures de distinction jour/nuit pour l'horloge personnalisée, pour des protections de type volet ou store enroulable	-	[1]	[24]	-
	Pour les PM1 de type store vénitien				
Type-GPM-sv	Type de gestion de la première protection mobile de type stores vénitiens (=1 si gestion sun-tracking, =2 si gestion manuelle-position fixe des lames, =3 si gestion automatique 45°)	-	1	3	-
Type_horl_sv	Type d'horloge pour la distinction jour/nuit si gestion automatique (0-pas de distinction jour/nuit /	-	0	2	-

	1-horloge crépusculaire / 2-horloge personnalisable) pour les stores vénitiens				
M_horl_jour_sv	Matrice des heures de distinction jour/nuit pour l'horloge personnalisée pour les stores vénitiens	-	[1]	[24]	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
*Etp***	Eclairement incident total sur la baie, après prise en compte du (des) espace(s) tampon(s)	lux
Topj-1_max	Température opérative maximale du jour précédent	°C
Topj_max	Température opérative maximale du jour	°C
Hj_début	Heure de début de jour pour la gestion automatique (si horloge personnalisée)	-
Hj_fin	Heure de fin de jour pour la gestion automatique (si horloge personnalisée)	-
Jour	Indique les périodes de jour et de nuit (=vrai si c'est le jour ; =faux si c'est la nuit)	Bool
Saison_GPM	Indicateur de saison (1-hiver / 2-mi-saison / 3-été)	-
$Tli_{max,b}$	Valeur maximale des trois facteurs de transmission lumineuse de la baie vitrée b avec protection mobile	-
Rprot1_auto	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type volet ou store enroulable en gestion automatique	-
Rprot	Terme générique caractérisant un ratio de fermeture d'une protection mobile	-
Rprot0	Terme générique caractérisant un ratio de fermeture d'une protection mobile pour un éclairement nul	-
Eclman	Terme générique caractérisant un seuil d'éclairement incident pour lequel une protection mobile est entièrement fermée	lux
Type-GPM-manu	Type de gestion de PM1 de type volet ou store enroulable prenant en compte un éventuel détecteur de présence (=1 si auto avec dérogation+détecteur de présence, =2 si auto avec dérogation sans détecteur de présence, =3 si gestion manuelle non motorisée, =4 si gestion manuelle motorisée)	-
$Rprot2_{,b}$	Ratio de surface de la baie vitrée b protégée par la seconde protection mobile	-
Is_PM2_active	Indicateur d'activation de la seconde protection mobile	Bool
	Pour les PM1 de type volet	
Rprot1_manu_occ0_v	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type volet, pour un éclairement nul, en gestion manuelle et en occupation le jour (dans le cas où il n'y a pas de seconde protection mobile)	-
Ecl1_manu_occ1_v	Seuil d'éclairement incident pour lequel Rprot1_manu_occ_v = 1 (en gestion manuelle et en occupation le jour dans le cas où il n'y a pas de seconde protection mobile)	lux
Rprot1_manu_occ_v	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type volet, en gestion manuelle et en occupation	-
Rprot1_manu_inocc_v	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type volet, en gestion manuelle et en inoccupation	-

Ecl2_occ1_v	Seuil d'éclairement incident pour lequel Rprot2_occ_v = 1 (en occupation, pour des PM1 de type volet)	lux
	Pour les PM1 de type store enroulable	
Rprot1_manu_occ0_se	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store enroulable, pour un éclairement nul, en gestion manuelle et en occupation le jour (dans le cas où il n'y a pas de seconde protection mobile)	-
Ecl1_manu_occ1_se	Seuil d'éclairement incident pour lequel Rprot1_manu_occ_se = 1 (en gestion manuelle et en occupation le jour dans le cas où il n'y a pas de seconde protection mobile)	lux
Rprot1_manu_occ_se	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store enroulable, en gestion manuelle et en occupation	-
Rprot1_manu_inocc_se	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store enroulable, en gestion manuelle et en inoccupation	-
Ecl2_occ1_se	Seuil d'éclairement incident pour lequel Rprot2_occ_se = 1 (en occupation, pour les stores enroulables)	lux
	Pour les PM1 de type store vénitien	
Rprot1_auto_occ_sv	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store vénitien, en gestion automatique et en occupation	-
Rprot1_auto_inocc_sv	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store vénitien, en gestion automatique et en inoccupation	-
Rprot1_manu_occ_sv	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store vénitien, en gestion manuelle et en occupation	-
Rprot1_manu_inocc_sv	Ratio de surface de baies protégées par la première protection mobile de type store vénitien, en gestion manuelle et en inoccupation	-
Ecl2_occ1_sv	Seuil d'éclairement incident pour lequel Rprot2_occ_sv = 1 (en occupation, pour les stores vénitiens)	lux

Sorties

Nom	Description	Unité
$part_{GPM}$	Pourcentage de la surface des baies appartenant soit aux locaux réellement occupés d'un groupe en période d'occupation (si gestion manuelle), soit aux locaux en dérogation manuelle (si gestion automatique)	-
$Rprot1_{partGPM,b}$	Position de la première protection mobile de la baie vitrée b dans la « $part_{GPM}$ » des locaux (0 – ouverte, 1 – fermée)	-
$Rprot1_{1-partGPM,b}$	Position de la première protection mobile de la baie vitrée b dans la partie « 1- $part_{GPM}$ » des locaux (0 – ouverte, 1 – fermée)	-
$Rprot2_{,b}$	Position de la seconde protection mobile de la baie vitrée b (0 – ouverte, 1 – fermée)	-

Tableau 33 : Nomenclature des différentes variables du modèle de gestion des protections mobiles

5.9.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.9.3.1 ***Structure des calculs***

Notations

Les données conventionnelles sont définies pour chaque type de zone, avec l'indice :

[z] numéro de la zone concernée

On distingue les trois types de protections mobiles par les indices suivants :

- _v volet
- _se store enroulable
- _sv store vénitien

L'indice **0** accolé à *occ* caractérise la valeur du Rprot pour un éclairement nul.

L'indice **1** accolé à *occ* caractérise la valeur de l'éclairement pour un Rprot=1.

L'indice **1** affecté au Rprot ou à Ecl caractérise la première protection mobile.

L'indice **2** affecté au Rprot ou à Ecl caractérise la seconde protection mobile.

Exemple : Rprot1_manu_occ0 est le ratio de fermeture de la première protection mobile pour un éclairement nul (en occupation et en gestion manuelle).

Conventions

- Les tableaux relatifs à la gestion manuelle feront l'objet d'une convention non modifiable par l'utilisateur et définie pour chaque zone. Les tableaux relatif aux automatismes seront, au moins initialement, des données d'entrée de la méthode.

- La GPM d'une baie consiste à déterminer les ratios surfaciques de baie protégée. On appelle *Rprot* un ratio de surface relative de protection de la baie, tel que :

- Rprot = 0 si la baie est sans protection mobile
- Rprot = 1 si la protection mobile est en place

Répartition des locaux en période d'occupation

On définit une part $Part_{GPM}$ de la baie qui correspond aux locaux réellement occupés en période d'occupation telle que définie dans les scénarii d'usage. On attribuera donc un $Rprot_{partGPM}$ pour la part $Part_{GPM}$ de la baie et un $Rprot_{1\text{-}partGPM}$ pour la part (1- $Part_{GPM}$). Cette règle est valable pour la gestion manuelle.

Mode de gestion à prendre en compte pour la première protection mobile

- volet, store enroulable

- automatique avec dérogation
- manuelle motorisée

- manuelle non motorisée

- store à lames orientables

  - suntracking avec dérogation
  - automatique fixe 45° avec dérogation
  - manuelle

NB : les cas « manuelle motorisée avec commande générale dérogeable » sont assimilés à manuelle motorisée.

Règles pour la dérogation de la gestion automatique

Le principe de la dérogation est de l'appliquer sur une partie de la part des locaux réellement occupés. De cette manière, la baie en période d'occupation est partagée entre la gestion manuelle par dérogation et la gestion automatique.

Résumé des règles de gestion

Si la protection mobile 1 est équipée d'une gestion automatique :

- En période d'inoccupation, on applique la gestion automatique sur la totalité de la baie
- En période d'occupation, on applique la gestion manuelle par dérogation sur une partie de la baie et la gestion automatique pour le reste

Si la protection mobile 1 est gérée manuellement :

- En période d'inoccupation, on applique la gestion manuelle d'inoccupation sur la totalité de la baie
- En période d'occupation, on applique la gestion manuelle d'occupation sur une partie de la baie (correspondant à la part des locaux réellement occupés) et la gestion manuelle d'inoccupation pour le reste (correspondant à la part des locaux réellement inoccupés)

Spatio-temporel

Si la gestion est automatique, la matrice pour le calcul du Rprot est définie au niveau de la baie. A chaque pas de temps, l'outil va chercher dans cette matrice la valeur de Rprot correspondante.

Si la gestion est manuelle, une matrice pour le calcul du Rprot est définie conventionnellement pour chaque usage (donc au niveau de la zone). Selon l'usage de la zone à laquelle appartient la baie étudiée, l'outil va chercher dans la matrice correspondante la valeur de Rprot.

5.9.3.2 *Calculs préliminaires*

5.9.3.2.1 Calcul de la température maximale du jour précédent

Certaines fonctions de gestion-régulation définies ci-dessous nécessitent de connaître la température opérative maximale du jour précédent, notée $Topj-1_{max}$.

À chaque pas de temps :

$Topj_{max} = \max (Topj_{max} ; \theta_{op,fin}(h-1))$

si incrémentation de *Jour_année* (175)

alors

$Topj\text{-}1_{max} = Topj_{max}$

$Topj_{max} = 0$

Note : pour le premier jour de l'année, la donnée $Topj-1_{max}$ ne sera pas accessible. On prendra une valeur nulle par défaut (cela n'aura de toute façon aucun impact, la température opérative maximale du jour précédent étant utilisée uniquement en été).

5.9.3.2.2 Calcul de l'éclairement incident

L'éclairement incident est corrigé par la présence d'espaces tampons.

On pose (176)

$$Etp^{**} = b_{ecl,b}.Etp^{*}$$

Où *Etp*** est l'éclairement incident sur la baie, après correction due à la présence d'un espace tampon.

5.9.3.2.3 Calcul d'un Rprot en fonction de l'éclairement

Lorsque le local est occupé, en période de jour et en absence d'une seconde protection mobile, le ratio de fermeture d'une protection mobile de type volet ou store enroulable dépend de l'éclairement. Le principe général de calcul est détaillé ci-dessous.

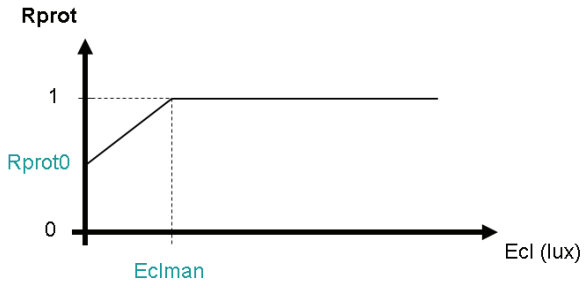


Figure 27 : Calcul d'un Rprot en fonction de l'éclairement

Si *Etp*** ≥ *Eclman*

$$Rprot = 1 \quad (177)$$

Si *Etp*** < *Eclman*

$$Rprot = Rprot0 + (1 - Rprot0).\frac{Etp^{**}}{Eclman}$$

Pour les quatre cas suivants, le ratio de fermeture des protections mobiles ne se calcule pas à partir de l'éclairement (il prend une valeur unique définie dans les matrices correspondantes) :

- si la protection mobile est de type store vénitien ;
- en gestion manuelle, lorsque le local est occupé et en période de nuit ;
- en gestion manuelle, lorsque le local est occupé et en présence d'une seconde protection mobile ;
- en gestion manuelle, lorsque le local est inoccupé ;
- en gestion automatique.

5.9.3.2.4 Calcul de Part_GPM

$Part_{GPM}$ permet de distinguer deux types de locaux ayant des ratios de fermeture des protections mobiles différents.

5.9.3.2.4.1 En gestion manuelle ((type-PM=1 ou 2 et Type-GPM=2 ou 3) ou (type-PM=3 et Type-GPM-sv=2))

En gestion manuelle, $part_{GPM}$ est la part des baies en locaux occupés.

En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai)

$$part_{GPM} = Pocc[z] \quad (178)$$

En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux),

$$part_{GPM} = 0$$

Pocc[z] est la part des baies en groupe occupé pour lesquelles un occupant peut agir manuellement. Ce paramètre conventionnel est défini pour chaque zone.

5.9.3.2.4.2 En gestion automatique ((type-PM=1 ou 2 et Type-GPM=1) ou (type-PM=3 et Type-GPM-sv=1 ou type-GPM-sv=3))

En gestion automatique, $part_{GPM}$ représente la part des baies du groupe dont la gestion des protections mobiles est la dérogation manuelle.

En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai)

$$part_{GPM} = Pocc[z]*Pdérog[z] \quad (179)$$

En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux),

$$part_{GPM} = 0$$

Pderog[z] est la part des baies en locaux occupés dont la gestion des protections mobiles est la dérogation manuelle.

5.9.3.2.4.3 Récapitulatif

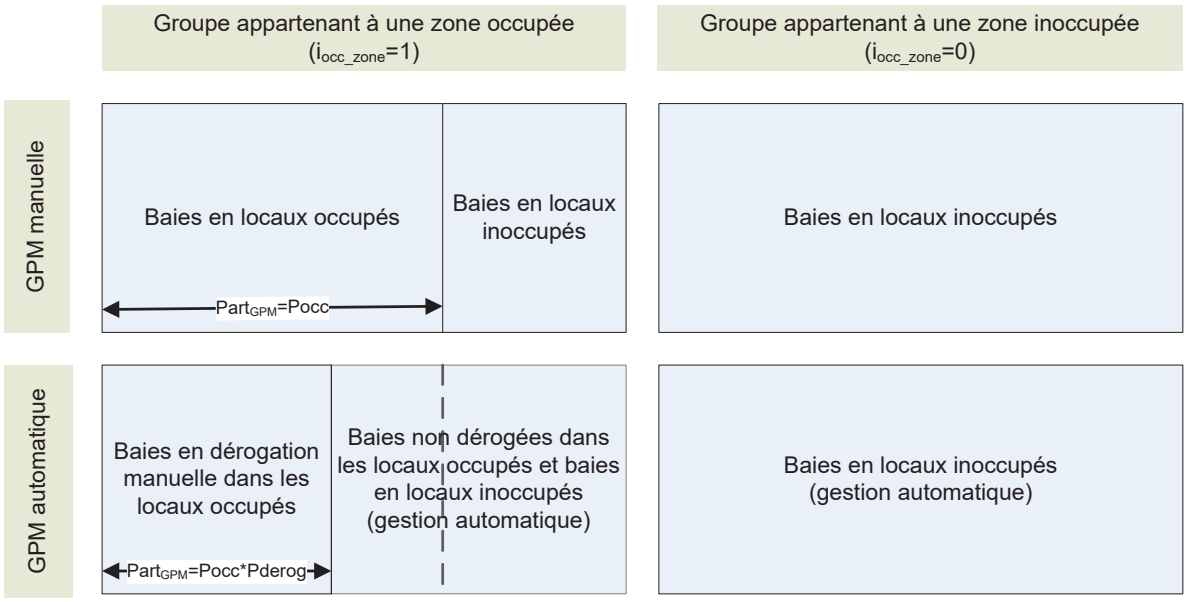


Figure 28 : Synthèse du calcul de part_GPM en fonction des configurations

5.9.3.2.5 Création d'une variable interne pour les volets et les stores enroulables

Pour des protections mobiles de type volet ou store enroulable, le ratio de fermeture Rprot dépend du type de gestion de la première protection mobile. La création de la variable interne *type-GPM-manu* permet de simplifier le traitement des données stockées dans les matrices.

- si la gestion est automatique avec dérogation (*type-GPM*=1)

  - si il y a un détecteur de présence (*detec_pres*=vrai)

    type-GPM-manu =1

  - si pas de détecteur de présence (*detec_pres*=faux)

    type-GPM-manu =2 (180)

- si la gestion manuelle est non motorisée (*type-GPM*=2)

  type-GPM-manu =3

- si la gestion manuelle est motorisée (*type-GPM*=3)

  type-GPM-manu =4

5.9.3.2.6 Calcul du paramètre saison_GPM

Saison_GPM est une variable interne nécessaire uniquement pour faire le lien entre la fiche algorithme saison et les algorithmes de cette fiche. Elle se calcule de la manière suivante :

- si $Saison^{gr}(j)$ =3

  saison_GPM=1 (hiver, chauffage)

- si $Saison^{gr}(j)$ =2 et $Saison^{gr}(j)$ =4

  saison_GPM=2 (mi-saison) (181)

- si $Saison^{gr}(j)$ =1

  saison_GPM=3 (été, refroidissement)

5.9.3.2.7 Calcul du paramètre jour

Le paramètre booléen *Jour* permet de distinguer les colonnes jour et nuit des matrices. Ce paramètre varie selon le type d'horloge et selon le type de gestion des protections mobiles.

5.9.3.2.7.1 Pour les PM1 de type volet ou store enroulable (Type-PM=1 ou 2)

- Pour la gestion automatique (*type-GPM*=1)

- si *type_horl*=0, on ne distingue pas le jour et la nuit.

  Jour=vrai

- si l'horloge est crépusculaire (*type_horl*=1), le paramètre *Jour* est lié à l'éclairement incident sur la baie considérée.

  Si *Etp***≠0, *Jour*=vrai
  si *Etp***=0, *Jour*=faux (182)

- si l'horloge est personnalisable (*type_horl*=2), le paramètre *Jour* dépend des données que l'occupant aura définies dans la matrice M_horl_jour.

  Si $Hj_{\_debut}$(*saison_GPM*) < *Hleg* ≤$Hj_{\_fin}$(*saison_GPM*) alors *Jour*=vrai
  sinon *Jour*=faux

Matrice M_Horl_jour	hiver	mi-saison	été
Hj_début			
Hj_fin			

Figure 29 : matrice M_horl_jour

- Pour la gestion manuelle (*type-GPM*=2 ou *type-GPM*=3), on se base sur l'éclairement total incident *Etp*** pour distinguer le jour de la nuit en occupation. Le paramètre i_{occ_gpm} permet de différentier l'occupation de l'inoccupation dite de jour et de celle dite de nuit ou de vacances. En effet, dans le cas de la gestion manuelle, pendant les périodes d'inoccupation la position des protections mobiles doit rester fixe et ne doit pas dépendre du paramètre *Jour*. La fiche « Scénarios conventionnels » définit donc les périodes d'inoccupation pour lesquelles la position

des protections mobiles sera celle de l'inoccupation en journée et les périodes d'inoccupation pour lesquelles la position des protections mobiles sera celle de l'inoccupation la nuit (notamment les périodes de weekend et de vacances). Le paramètre i_{occ_gpm} intervient donc également dans le calcul du paramètre *Jour*, comme suit :

Si i_{occ_gpm} = 1

{ *Jour* = vrai, si *Etp***≠0
{ *Jour* = faux, si *Etp***=0

Si i_{occ_gpm} = 0 (183)

Jour = vrai

Si i_{occ_gpm} = -1

Jour = faux

5.9.3.2.7.2 Pour les PM1 de type store à lames orientables (Type-PM=3)

Le principe est le même que pour les volets ou les stores enroulables. Mais les heures de début et de fin de jour peuvent être différentes.

- Pour la gestion automatique (*type-GPM-sv*=1 ou *type-GPM-sv*=3)

- si *type_horl_sv*=0, on ne distingue pas le jour et la nuit.

  Jour=vrai

- si l'horloge est crépusculaire (*type_horl_sv*=1), le paramètre *Jour* est lié à l'éclairement incident sur la baie considérée.

  { Si *Etp***≠0, *Jour*=vrai
  { si *Etp***=0, *Jour*=faux (184)

- si l'horloge est personnalisable (*type_horl_sv*=2), le paramètre *Jour* dépend des données que l'occupant aura définies dans la matrice M_horl_jour_sv (cf. ci-dessous)

  { si $Hj_{\_debut}$(*saison_GPM*)< *Hleg* ≤ $Hj_{\_fin}$(*saison_GPM*) alors *Jour*=vrai
  { sinon *Jour*=faux

Matrice M_Horl_jour_sv	hiver	mi-saison	été
Hj_début			
Hj_fin			

Figure 30 : matrice M_horl_jour_sv

- Pour la gestion manuelle (*type-GPM-sv*=2), on se base sur l'éclairement total incident *Etp*** pour distinguer le jour de la nuit en occupation. Le paramètre i_{occ_gpm} permet de différentier l'occupation de l'inoccupation dite de jour et de celle dite de nuit ou de vacances. En effet, dans le cas de la gestion manuelle, pendant les périodes d'inoccupation la position des protections mobiles doit rester fixe et ne doit pas dépendre du paramètre *Jour*. La fiche « Scénarios conventionnels » définit donc les périodes d'inoccupation pour lesquelles la position des protections mobiles sera celle de l'inoccupation en journée et les périodes d'inoccupation pour lesquelles la position des

protections mobiles sera celle de l'inoccupation la nuit (notamment les périodes de weekend et de vacances). Le paramètre i_{occ_gpm} intervient donc également dans le calcul du paramètre *Jour*, comme suit :

Si i_{occ_gpm} = 1

- *Jour* = vrai, si *Etp***≠0
- *Jour* = faux, si *Etp***=0

Si i_{occ_gpm} = 0 (185)

Jour = vrai

Si i_{occ_gpm} = -1

Jour = faux

5.9.3.2.8 Calcul de l'hystérésis

Si la gestion des protections mobiles de type volet ou store enroulable (type_PM=1 ou 2) est automatique, le ratio de fermeture *Rprot* dépend directement de la température opérative à la fin du pas de temps précédent.

La stratégie de fermeture fait intervenir une fonction d'hystérésis, qui est décrite par le schéma ci-dessous :

En notant :

- *x* la valeur du *Rprot* issue de la matrice *M_Rprot1_auto* dans une situation donnée (occupation/inoccupation, saison, jour/nuit, *Etp***) et pour *θop,fin* < *Toph-1limb*, et
- *y* la valeur du *Rprot* issue de la matrice *M_Rprot1_auto* dans la même situation mais pour *Toph-1limh* < *θop,fin* ,

on a les profils suivants :

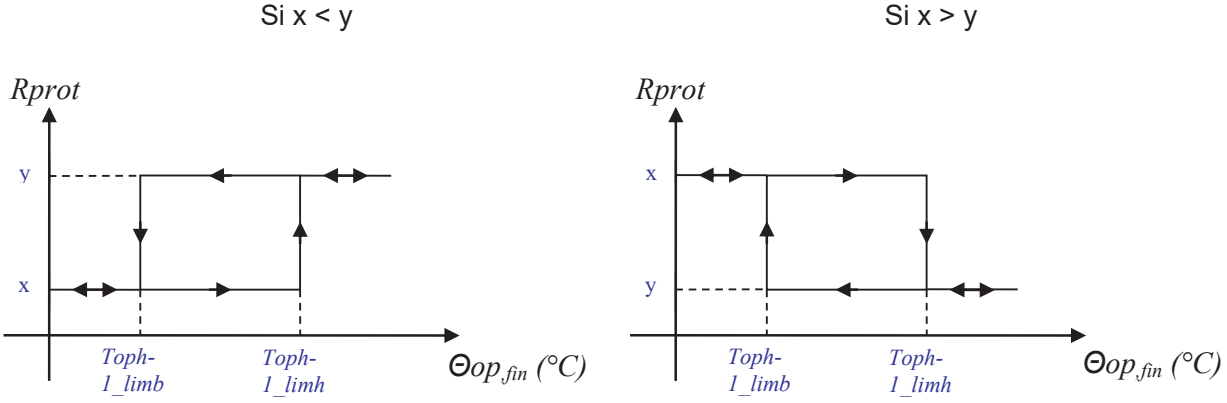


Figure 31 : Forme générale du profil du ratio de fermeture d'une protection mobile en gestion automatique, en fonction de la température opérative

5.9.3.3 *Présentation des matrices de ratios de fermeture et des valeurs conventionnelles*

Les 2 tableaux ci-dessous présentent de manière globale la structure des matrices utilisées pour les calculs des ratios de fermeture d'une protection mobile. Il s'agit d'une concaténation des matrices définies dans la nomenclature, permettant d'illustrer la caractérisation globale de la gestion des protections mobiles d'une baie.

Le premier tableau concerne le cas où la première protection mobile est de type volet ou store enroulable, le second concerne le cas où la première protection mobile est de type store vénitien.

Les cases en jaune représentent les valeurs définies par l'utilisateur (gestion automatique), tandis que les cases en vert et bleu représentent les valeurs conventionnelles (gestion manuelle et dérogation manuelle). Les cases en bleu se distinguent par la caractérisation des ratios de fermeture pour la seconde protection mobile (quand elle est présente).

Première protection mobile de type volet ou store enroulable				jour				nuit		jour				nuit
				Etp* < Eclim_auto		Etp* ≥ Eclim_auto				sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
				Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
				Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver											
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver										idem avec ou sans détecteur de présence	
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										
		gestion automatique	hiver											
			mi-saison											
			été											
	inoccupation		hiver											
			mi-saison											
			été											
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver											
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										
		gestion manuelle motorisée	hiver											
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver									idem avec ou sans PM2		
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										
		gestion manuelle motorisée	hiver											
			mi-saison											
			été	Topj-1_lim_manu < Topj-1_max										
				Topj-1_max < Topj-1_lim_manu										

Figure 32 : matrice générale des ratios de fermeture dans le cas où la première protection mobile est de type volet ou store enroulable

Première protection mobile de type store vénitien				jour		nuit	jour		nuit	PM2
				Etp** < Eclim_auto_sv	Etp** ≥ Eclim_auto_sv		Etp** < Eclim_manu_sv	Etp** ≥ Eclim_manu_sv		
				Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Ecl2
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle	hiver				idem gestion manuelle			idem gestion manuelle
			mi-saison							
			été							
		automatisme	hiver							
			mi-saison							
			été							
	inoccupation		hiver							
			mi-saison							
			été							
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle	hiver							
			mi-saison							
			été							
	inoccupation	gestion manuelle	hiver							
			mi-saison							
			été							

Figure 33 : matrice générale des ratios de fermeture dans le cas où la première protection mobile est de type store vénitien

5.9.3.3.1 Cas de la gestion manuelle (dont dérogation de gestion automatique)

Les matrices conventionnelles (gestion manuelle) ont été définies pour 6 familles, qui regroupent des usages considérés comme similaires du point de vue de la gestion des protections mobiles. Le tableau suivant présente ces regroupements d'usages, ainsi que les paramètres d'intégration *Pocc* et *Pderog* qui sont eux fixés pour chacun des 34 usages.

		Regroupement d'usages			Paramètres des	
	Liste des zones	Habitation, hôtellerie et hébergement	Bureaux	Enseignement	Pocc	Pderog
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	X			0,5	0,25
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	X			0,7	0,25
4	Enseignement primaire			X	0,7	0,4
5	Enseignement secondaire (partie jour)			X	0,7	0,4
16	Bureaux		X		0,5	0,25

Figure 34 : Regroupement d'usages et valeurs des paramètres Pocc et Pderog pour chaque usage

Les tableaux suivants correspondent aux matrices conventionnelles (gestion manuelle) pour chacune des 6 familles d'usages et pour les 3 types de protections mobiles (volet, store enroulable et store vénitien).

Ces tableaux n'intègrent pas les valeurs spécifiques aux modes Th_D en saison de confort adaptatif, ceux-ci seront détaillés dans le chapitre 5.9.3.6.

Première protection mobile de type volet					Habitation, hôtellerie et hébergement				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		10%	100 000	10%	100 000	80%
			mi-saison		10%	100 000	10%	60 000	80%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	60 000	20%	30 000	80%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	40 000	50%		80%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		10%	100 000	10%	idem avec ou sans détecteur de présence	90%
			mi-saison		10%	100 000	10%		90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	50 000	20%		90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		90%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		15%	100 000	15%	100 000	80%
			mi-saison		15%	100 000	15%	80 000	80%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	80 000	20%	30 000	80%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	25%	60 000	40%		80%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%	100 000	10%	100 000	90%
			mi-saison		10%	100 000	10%	60 000	90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	60 000	20%	20 000	90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	40 000	40%		90%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		20%		idem avec ou sans PM2		70%
			mi-saison		20%				70%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%				70%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				70%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				80%
			mi-saison		10%				80%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%				80%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	50%				80%

Figure 35 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type volet et pour les usages de la famille « habitation, hôtellerie et hébergement »

Première protection mobile de type volet					BUREAU				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		5%	80 000	5%	80 000	90%
			mi-saison		5%	100 000	5%	80 000	90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	80 000	30%	20 000	90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	60 000	30%		90%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		5%	80 000	5%	idem avec ou sans détecteur de présence	90%
			mi-saison		5%	100 000	5%		90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	70 000	30%		90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	50 000	30%		90%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%	80 000	10%	60 000	30%
			mi-saison		10%	100 000	10%	80 000	30%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	10%	80 000	20%	40 000	30%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	15%	60 000	20%		30%
		gestion manuelle motorisée	hiver		5%	80 000	5%	60 000	70%
			mi-saison		5%	100 000	5%	80 000	70%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	80 000	30%	30 000	70%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	60 000	30%		70%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%		idem avec ou sans PM2		30%
			mi-saison		10%				30%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%				30%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%				30%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				70%
			mi-saison		10%				70%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				70%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				70%

Figure 36 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type volet et pour les usages de la famille « bureau »

Première protection mobile de type volet					ENSEIGNEMENT				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		5%	80 000	5%	80 000	20%
			mi-saison		5%	100 000	5%	80 000	20%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	80 000	30%	20 000	20%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	60 000	30%		20%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		5%	80 000	5%	idem avec ou sans détecteur de présence	20%
			mi-saison		5%	100 000	5%		20%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	70 000	30%		20%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	50 000	30%		20%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%	80 000	10%	60 000	90%
			mi-saison		10%	100 000	10%	80 000	90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	10%	80 000	20%	40 000	90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	15%	60 000	20%		90%
		gestion manuelle motorisée	hiver		5%	80 000	5%	60 000	90%
			mi-saison		5%	100 000	5%	80 000	90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	80 000	30%	30 000	90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	60 000	30%		90%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%		idem avec ou sans PM2		60%
			mi-saison		10%				60%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%				60%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%				60%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				90%
			mi-saison		10%				90%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				90%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				90%

Figure 37 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type volet et pour les usages de la famille « enseignement »

Première protection mobile de type store enroulable					Habitation, hôtellerie et hébergement				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		10%	100 000	10%	100 000	10%
			mi-saison		10%	60 000	10%	60 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	50 000	20%	30 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		10%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		10%	60 000	10%	idem avec ou sans détecteur de présence	10%
			mi-saison		10%	60 000	10%		10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	40 000	20%		10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		10%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%	100 000	10%	100 000	10%
			mi-saison		10%	80 000	10%	80 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	15%	60 000	15%	30 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	20%	40 000	40%		10%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%	100 000	10%	100 000	10%
			mi-saison		10%	60 000	10%	60 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	50 000	20%	20 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		10%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		10%		idem avec ou sans PM2		20%
			mi-saison		20%				20%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				20%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				20%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				10%
			mi-saison		20%				10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	60%				10%

Figure 38 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store enroulable et pour les usages de la famille « habitation, hôtellerie et hébergement »

Première protection mobile de type store enroulable					BUREAU				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		10%	60 000	10%	80 000	15%
			mi-saison		10%	80 000	20%	80 000	15%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	30 000	45%	20 000	20%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		20%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		10%	60 000	10%	idem avec ou sans détecteur de présence	10%
			mi-saison		10%	80 000	20%		10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	20 000	45%		15%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	20 000	50%		15%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		15%	60 000	10%	60 000	10%
			mi-saison		15%	80 000	15%	80 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	40 000	35%	40 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	25%	40 000	40%		10%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%	60 000	10%	60 000	10%
			mi-saison		10%	80 000	20%	80 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	30 000	45%	30 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		10%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		15%		idem avec ou sans PM2		15%
			mi-saison		15%				15%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%				20%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%				20%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				10%
			mi-saison		10%				10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				15%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				15%

Figure 39 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store enroulable et pour les usages de la famille « bureau »

Première protection mobile de type store enroulable					ENSEIGNEMENT				
					jour				nuit
					sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)		
					PM1	PM1	PM1	PM2	PM1
					Rprot0	Ecl1	Rprot	Ecl2	Rprot
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle sans détecteur de présence	hiver		10%	60 000	10%	80 000	15%
			mi-saison		10%	80 000	20%	80 000	15%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	30 000	45%	20 000	15%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		15%
		dérogation manuelle avec détecteur de présence	hiver		10%	60 000	10%	idem avec ou sans détecteur de présence	10%
			mi-saison		10%	80 000	20%		10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	20 000	45%		10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	20 000	50%		10%
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		15%	60 000	10%	60 000	10%
			mi-saison		15%	80 000	15%	80 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	20%	40 000	35%	40 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	25%	40 000	40%		10%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%	60 000	10%	60 000	10%
			mi-saison		10%	80 000	20%	80 000	10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%	30 000	45%	30 000	10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%	30 000	50%		10%
	inoccupation	gestion manuelle non motorisée	hiver		15%		idem avec ou sans PM2		10%
			mi-saison		15%				10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	25%				10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	30%				10%
		gestion manuelle motorisée	hiver		10%				10%
			mi-saison		10%				10%
			été	Topj-1_max < Topj-1_lim_manu	30%				10%
				Topj-1_lim_manu <= Topj-1_max	40%				10%

Figure 40 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store enroulable et pour les usages de la famille « enseignement »

Première protection mobile de type store vénitien				Habitation, hôtellerie et hébergement			
				jour		nuit	PM2
				Etp** < Eclim_manu_sv	Etp** ≥ Eclim_manu_sv		
				Rprot	Rprot	Rprot	Ecl2
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle	hiver	idem gestion manuelle			idem gestion manuelle
			mi-saison				
			été				
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle	hiver	20%	60%	80%	100 000
			mi-saison	10%	40%	80%	80 000
			été	20%	70%	80%	30 000
	inoccupation	gestion manuelle	hiver	40%		70%	
			mi-saison	20%		70%	
			été	40%		70%	

Figure 41 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store vénitien et pour les usages de la famille « habitation, hôtellerie et hébergement »

Première protection mobile de type store vénitien				BUREAU			
				jour		nuit	PM2
				Etp** < Eclim_manu_sv	Etp** ≥ Eclim_manu_sv		
				Rprot	Rprot	Rprot	Ecl2
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle	hiver	*idem gestion manuelle*			*idem gestion manuelle*
			mi-saison				
			été				
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle	hiver	20%	60%	20%	60 000
			mi-saison	10%	40%	10%	80 000
			été	20%	70%	20%	40 000
	inoccupation	gestion manuelle	hiver	40%		40%	
			mi-saison	20%		20%	
			été	40%		40%	

Figure 42 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store vénitien et pour les usages de la famille « bureau »

Première protection mobile de type store vénitien				ENSEIGNEMENT			
				jour		nuit	PM2
				Etp** < Eclim_manu_sv	Etp** ≥ Eclim_manu_sv		
				Rprot	Rprot	Rprot	Ecl2
gestion automatique	occupation	dérogation manuelle	hiver	*idem gestion manuelle*			*idem gestion manuelle*
			mi-saison				
			été				
gestion manuelle	occupation	gestion manuelle	hiver	20%	60%	20%	60 000
			mi-saison	10%	40%	10%	80 000
			été	20%	70%	20%	40 000
	inoccupation	gestion manuelle	hiver	40%		90%	
			mi-saison	20%		90%	
			été	40%		90%	

Figure 43 : Matrice conventionnelle pour les PM1 de type store vénitien et pour les usages de la famille « enseignement »

5.9.3.3.2 Cas de la gestion automatique

Les matrices conventionnelles en gestion automatique ont été définies pour 2 familles, qui regroupent des usages considérés comme similaires du point de vue de la gestion des protections mobiles automatique :

- Famille *« habitation, hôtellerie et hébergement »,* telle que définie pour la gestion manuelle et qui comprend les usages résidentiels

- Famille *« tertiaire »* regroupant les autres usages n'appartenant pas à la famille d'usages précédente

Les tableaux suivants correspondent aux matrices conventionnelles de gestion automatique pour ces 2 familles d'usages, pour 2 regroupements de types de protections mobiles (« volet ou store enroulable » et « store vénitien ») et pour les protections mobiles principales et secondaires.

Résidentiel (volets, stores enroulables)			Jour				Nuit	
			Etp** < Eclim_auto		Etp** >= Eclim_auto			
			Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto	Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto	Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto
			Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot
Gestion automatique	Occupation	hiver	0%	0%	0%	0%	100%	100%
		mi -saison	0%	0%	50%	0%	100%	100%
		été	50%	0%	100%	75%	50%	90%
	Inoccupation	hiver	0%	0%	0%	0%	100%	100%
		mi-saison	0%	0%	50%	0%	100%	100%
		été	100%	75%	100%	75%	50%	50%

Figure 44 : Matrice conventionnelle de gestion automatique pour les PM1 de type stores enroulables et volets en *« habitation, hôtellerie et hébergement »*

Tertiaire (volets, stores enroulables)			Jour				Nuit	
			Etp** < Eclim_auto		Etp** >= Eclim_auto			
			Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto	Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto	Toph-1limh_auto < θop_fin(h-1)	θop_fin(h-1) < Toph-1limb_auto
			Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot	Rprot
Gestion automatique	Occupation	hiver	0%	0%	0%	0%	100%	100%
		mi -saison	0%	0%	50%	0%	100%	100%
		été	50%	0%	100%	75%	0%	0%
	Inoccupation	hiver	0%	0%	0%	0%	100%	100%
		mi-saison	0%	0%	50%	0%	100%	100%
		été	100%	75%	100%	75%	0%	0%

Figure 45 : Matrice conventionnelle de gestion automatique pour les PM1 de type stores enroulables et volets en tertiaire

Résidentiel (Stores vénitiens)			Jour		Nuit
			Etp** < Eclim_auto_sv	Etp** >= Eclim_auto_sv	
			Rprot	Rprot	Rprot
Gestion automatique	Occupation	hiver	0%	0%	100%
		mi -saison	0%	50%	100%
		été	100%	100%	50%
	Inoccupation	hiver	0%	0%	100%
		mi-saison	0%	50%	100%
		été	100%	100%	50%

Figure 46 : Matrice conventionnelle de gestion automatique pour les PM1 de type stores vénitiens en *« habitation, hôtellerie et hébergement »*

Tertiaire (Stores vénitiens)			Jour		Nuit
			Etp** < Eclim_auto_sv	Etp** >= Eclim_auto_sv	
			Rprot	Rprot	Rprot
Gestion automatique	Occupation	hiver	0%	0%	100%
		mi -saison	0%	50%	100%
		été	100%	100%	0%
	Inoccupation	hiver	0%	0%	100%
		mi-saison	0%	50%	100%
		été	100%	100%	0%

Figure 47 : Matrice conventionnelle de gestion automatique pour les PM1 de type stores vénitiens en tertiaire

5.9.3.4 *Calcul des ratios de fermeture de la première PM dans Th-BC*

Les ratios de fermeture de la première protection mobile $Rprot1_{partGPM}$ et $Rprot1_{1\text{-}partGPM}$ sont calculés à chaque pas de temps.

Ces ratios de fermeture se calculent à partir des données stockées dans les matrices et dépendent de nombreux paramètres d'entrée :

- pour une gestion manuelle, les ratios de fermeture dépendent du type de protection mobile (*type-PM*), du type de gestion de la protection mobile (*type-GPM* et *type-GPM-sv*), du critère *Jour/nuit*, de la présence ou non d'une seconde protection mobile, de la saison, de la vitesse du vent corrigée et de la température maximale du jour précédent.
- pour une gestion automatique, les ratios de fermeture dépendent du critère Jour/nuit, de l'éclairement global incident, de la température opérative moyenne du pas de temps considéré, de l'occupation du groupe, de la vitesse du vent et de la saison.

5.9.3.4.1.1 ***Pour les PM1 de type volet (Type-PM=1)****Pour la gestion automatique (type-GPM=1)*

$Rprot1_{partGPM}$ est déterminé en gestion manuelle par dérogation (idem. §0) alors que $Rprot1_{1\text{-}partGPM}$ est déterminé en gestion automatique.

Matrice M_Rprot1_auto		jour				nuit	
		Etp* < Eclim_auto		Etp* ≥ Eclim_auto			
		Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb
		Rprot1_auto					
groupe en occupation	hiver						
	mi-saison						
	été						
groupe en inoccupation	hiver						
	mi-saison						
	été						

Figure 48 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type volet, en gestion automatique

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),
  - si *Jour*=vrai et si *PM2*=faux, (186)
    - si *Etp*** ≥ Eclman

      $Rprot1_{partGPM,b}$=1

- si *Etp*** < Eclman

$$Rprot1_{partGPM,b} = Rprot0 + (1 - Rprot0).\frac{Etp^{**}}{Eclman}$$

avec $\begin{cases} \text{Rprot0} = \text{Rprot1\_manu\_occ0\_v(type-GPM-manu,saison\_GPM,Topj} - 1_{\max}) \\ \text{Eclman} = \text{Ecl1\_manu\_occ1\_v(type-GPM-manu,saison\_GPM,Topj} - 1_{\max}) \end{cases}$

  - sinon

Rprot1$_{partGPM,b}$ = Rprot1_manu_occ_v[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

Et, dans tous les cas,

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_auto (*Jour*, *Etp***, $\theta_{op,fin}$, i_{occ_zone}, *saison_GPM*)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux),

Rprot1$_{partGPM,b}$ = 0 (187)

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_auto (*Jour*, *Etp***, $\theta_{op,fin}$, i_{occ_zone}, *saison_GPM*)

5.9.3.4.1.2 Pour la gestion manuelle (type-GPM=2 ou 3)

Rprot1$_{partGPM,b}$ (locaux occupés) est déterminé en gestion manuelle en occupation alors que *Rprot1*$_{1\text{-}partGPM,b}$ (locaux inoccupés) est déterminé en gestion manuelle en inoccupation.

Leurs calculs se font à partir des données stockées dans les matrices suivantes :

Matrice M_Rprot1_manu_occ_v[z]			jour			nuit
			sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)	tous les cas
			Rprot1_manu_occ0_v	Ecl1_manu_occ1_v	Rprot1_manu_occ_v	Rprot1_manu_occ_v
gestion manuelle non motorisée	groupe en occupation	hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
gestion manuelle motorisée		hiver				
		misaison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
dérogation sans détecteur de présence		hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
dérogation avec détecteur de présence		hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				

Figure 49 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type volet, en gestion manuelle et en occupation

Matrice M_Rprot1_manu_inocc_v[z]			jour		nuit
			sans 2nde protection	avec 2nde protection (mise en place ou non)	tous les cas
			Rprot1_manu_inocc_v		
gestion manuelle non motorisée	groupe en inoccupation	hiver			
		misaison			
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu			
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_ma			
gestion manuelle motorisée		hiver			
		misaison			
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu			
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_ma			

Figure 50 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type volet, en gestion manuelle et en inoccupation

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),
  - si *Jour*=vrai et si *PM2*=faux,
    - si *Etp***≥ Eclman

      $Rprot1_{partGPM,b}$=1
    - si *Etp***< Eclman

$$Rprot1_{partGPM,b} = Rprot0 + (1 - Rprot0).\frac{Etp^{**}}{Eclman}$$

$$avec \begin{cases} Rprot0 = Rprot1\_manu\_occ0\_v(\text{type-GPM-manu}, saison\_GPM, Topj - 1_{max}) \\ Eclman = Ecl1\_manu\_occ1\_v(\text{type-GPM-manu}, saison\_GPM, Topj - 1_{max}) \end{cases} \quad (188)$$

  - sinon

    Rprot1$_{partGPM,b}$ = Rprot1_manu_occ_v[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

Et, dans tous les cas,

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_manu_inocc_v[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux),

Rprot1$_{partGPM,b}$ = 0 (189)

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_manu_inocc_v[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

5.9.3.4.2 Pour les PM1 de type store enroulable (type-PM=2)

5.9.3.4.2.1 Pour la gestion automatique (type-GPM=1)

Rprot1$_{partGPM}$ est déterminé en gestion manuelle par dérogation alors que *Rprot1*$_{1\text{-}partGPM}$ est déterminé en gestion automatique.

Les Rprot en gestion automatique sont calculés à partir du tableau ci-dessous.

Matrice M_Rprot1_auto		jour				nuit	
		Etp* < Eclim_auto		Etp* ≥ Eclim_auto			
		Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb	Toph-1limh < θop,fin	θop,fin < Toph-1limb
		Rprot1_auto					
groupe en occupation	hiver						
	mi-saison						
	été						
groupe en inoccupation	hiver						
	mi-saison						
	été						

Figure 51 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type volet, en gestion automatique

La suite des calculs fait intervenir la notion de vitesse limite de vent. Pour une vitesse de vent réelle supérieure à cette limite (cette dernière étant fixée conventionnellement pour les stores enroulables), les protections mobiles – quand elles sont situées à l'extérieur – seront remontées ($Rprot1_{partGPM,b} = Rprot1_{1\text{-}partGPM,b} = 0$).

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),
  - Si $V_{vent\_c} \geq$ *Vventlim_manu_se* et *Prot_ext* = vrai,

    $Rprot1_{partGPM,b} = 0$
  - Sinon
    - si *Jour*=vrai et si *PM2*=faux,
      - si *Etp***≥ Eclman

        $Rprot1_{partGPM,b} = 1$
      - si *Etp***< Eclman

$$Rprot1_{partGPM,b} = Rprot0 + (1 - Rprot0).\frac{Etp^{**}}{Eclman}$$

$$avec \begin{cases} \text{Rprot0} = \text{Rprot1\_manu\_occ0\_se(type-GPM-manu,saison\_GPM,Topj} - 1_{\max}) \\ \text{Eclman} = \text{Ecl1\_manu\_occ1\_se(type-GPM-manu,saison\_GPM,Topj} - 1_{\max}) \end{cases} \quad (190)$$

    - sinon

      $Rprot1_{partGPM,b}$ = Rprot1_manu_occ_se[z] (*jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

  Et, dans tous les cas,

  - Si $V_{vent\_c} \geq$ *Vventlim_auto* et $Prot_{ext}$ = vrai,

    $Rprot1_{1\text{-}partGPM,b} = 0$
  - sinon

    $Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_auto (*Jour*, *Etp***, $\theta_{op,fin}$, i_{occ_zone}, *saison_GPM*)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux),

  $Rprot1_{partGPM,b} = 0$

  - Si $V_{vent\_c} \geq$ *Vventlim_auto* et $Prot_{ext}$ = vrai,

    $Rprot1_{1\text{-}partGPM,b} = 0$ (191)
  - sinon

    $Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_auto (*Jour*, *Etp***, $\theta_{op,fin}$, i_{occ_zone}, *saison_GPM*)

5.9.3.4.2.2 Pour la gestion manuelle (type-GPM=2 ou 3)

$Rprot1_{partGPM}$ (locaux occupés) est déterminé en gestion manuelle en occupation alors que $Rprot1_{1\text{-}partGPM}$ (locaux inoccupés) est déterminé en gestion manuelle en inoccupation. Leurs calculs se font à partir des données stockées dans les matrices suivantes :

Matrice M_Rprot1_manu_occ_se[z]			jour			nuit
			sans 2nde protection		avec 2nde protection (mise en place ou non)	tous les cas
			Rprot1_manu_occ0_se	Ecl1_manu_occ1_se	Rprot1_manu_occ_se	Rprot1_manu_occ_se
gestion manuelle non motorisée	groupe en occupation	hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
gestion manuelle motorisée		hiver				
		misaison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
dérogation sans détecteur de présence		hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				
dérogation avec détecteur de présence		hiver				
		mi-saison				
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu				
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu				

Figure 52 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type store enroulable, en gestion manuelle et en occupation

Matrice M_Rprot1_manu_inocc_se[z]			jour		nuit
			sans 2nde protection	avec 2nde protection (mise en place ou non)	tous les cas
			Rprot1_manu_inocc_se		
gestion manuelle non motorisée	groupe en inoccupation	hiver			
		misaison			
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu			
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu			
gestion manuelle motorisée		hiver			
		misaison			
		été avec Topj-1_max < Topj-1lim_manu			
		été avec Topj-1_max >= Topj-1lim_manu			

Figure 53 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type store enroulable, en gestion manuelle et en inoccupation

De même que précédemment, si la vitesse de vent dépasse le seuil limite conventionnel, les stores enroulables seront relevés.

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),
  - Si $V_{vent\_c} \geq Vventlim_{manu\_se}$ et $Prot_{ext}$ = vrai,

    $Rprot1_{partGPM,b}$= 0

    $Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= 0 (192)
  - sinon
    - si *Jour*=vrai et si *PM2*=faux,
      - si *Etp***≥ Eclman

        $Rprot1_{partGPM,b}$=1

- si *Etp***< Eclman

$$Rprot1_{partGPM,b} = Rprot0 + (1 - Rprot0).\frac{Etp^{**}}{Eclman}$$

$$avec \begin{cases} Rprot0 = Rprot1\_manu\_occ0\_se(\text{type-GPM-manu}, saison\_\text{GPM}, Topj - 1_{max}) \\ Eclman = Ecl1\_manu\_occ1\_se(\text{type-GPM-manu}, saison\_\text{GPM}, Topj - 1_{max}) \end{cases}$$

- sinon

Rprot1$_{partGPM,b}$ = Rprot1_manu_occ_se[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

Et, dans tous les cas,

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_manu_inocc_se[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux)

Rprot1$_{partGPM,b}$= 0

Rprot1$_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1$_{manu_inocc_se}$[z] (*Jour*, *PM2*, *type-GPM-manu*, *saison_GPM*, *Topj-1*$_{max}$) (193)

5.9.3.4.3 Pour les PM1 de type store vénitien (type-PM=3)

5.9.3.4.3.1 Si la gestion est automatique (type-GPM-sv=1 ou type-GPM-sv=3)

Rprot1$_{partGPM}$ est déterminé en gestion manuelle (équivalent à de la dérogation) alors que *Rprot1*$_{1\text{-}partGPM}$ est déterminé en gestion automatique.

Les Rprot en gestion automatique sont calculés à partir du tableau ci-dessous.

matrice M_Rprot1_auto_sv		jour		nuit
		Etp** < Eclim_auto_sv	Etp** ≥ Eclim_auto_sv	
		Rprot1_auto_occ_sv		
groupe en occupation	hiver			
	mi-saison			
	été			
		Rprot1_auto_inocc_sv		
groupe en inoccupation	hiver			
	mi-saison			
	été			

Figure 54 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type store vénitien en gestion automatique

Un seuil limite pour le vent (dont la valeur est propre aux stores vénitiens) permet de prendre en compte les contraintes structurelles.

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai), (194)
  - Si V_{vent_c} ≥ *Vventlim_manu_sv* et *Prot*$_{ext}$ = vrai,

$Rprot1_{partGPM,b}$= 0

- sinon

$Rprot1_{partGPM,b}$= Rprot1_manu_occ_sv[z] (*Jour*, *Etp***, *saison_GPM*)

- Si V_{vent_c} ≥ *Vventlim_auto_sv* et $Prot_{ext}$ = vrai,

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= 0

- sinon

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= Rprot1_auto_occ_sv (*Jour*, *Etp***, *saison_GPM*)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux)

$Rprot1_{partGPM,b}$= 0

- si V_{vent_c} ≥ *Vventlim_auto_sv* et $Prot_{ext}$ = vrai,

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= 0 (195)

- sinon

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_auto_inocc_sv (*Jour*, *saison_GPM*)

5.9.3.4.3.2 Si la gestion est manuelle (type-GPM-sv=2)

$Rprot1_{partGPM}$ (locaux occupés) est déterminé en gestion manuelle en occupation alors que $Rprot1_{1\text{-}partGPM}$ (locaux inoccupés) est déterminé en gestion manuelle en inoccupation. Leurs valeurs sont stockées dans la matrice suivante :

matrice M_Rprot1_manu_sv[z]		jour		nuit
		Etp** < Eclim_manu_sv	Etp** ≥ Eclim_manu_sv	
		Rprot1_manu_occ_sv		
groupe en occupation	hiver			
	mi-saison			
	été			
		Rprot1_manu_inocc_sv		
groupe en inoccupation	hiver			
	mi-saison			
	été			

Figure 55 : matrice pour calculer le Rprot des PM1 de type store vénitien en gestion manuelle

Un seuil limite pour le vent (dont la valeur est propre aux stores vénitiens) permet de prendre en compte les contraintes structurelles.

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),

- Si V_{vent_c} ≥ *Vventlim_manu_sv* et $Prot_{ext}$ = vrai,

$Rprot1_{partGPM,b}$= 0 (196)

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= 0

- sinon

$Rprot1_{partGPM,b}$= Rprot1_manu_occ_sv[z] (*Jour*, *Etp***, *saison_GPM*)

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$= Rprot1_manu_inocc_sv[z] (*Jour*, *saison_GPM*)

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux)

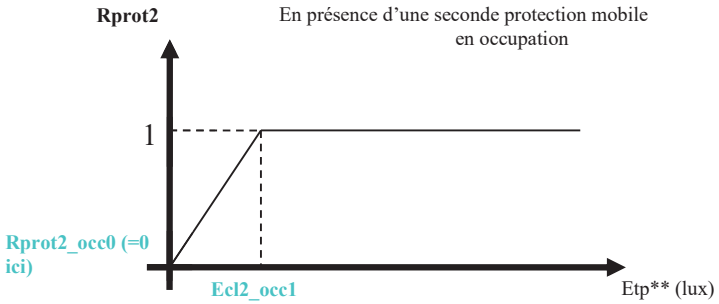
$Rprot1_{partGPM,b}$= 0 (197)

$Rprot1_{1\text{-}partGPM,b}$ = Rprot1_manu_inocc_sv[z] (*Jour*, *saison_GPM*)

5.9.3.5 *Calcul des ratios de fermeture de la seconde PM dans Th-BC*

Une seconde protection mobile (ayant pour seule fonction celle d'anti-éblouissement) peut venir suppléer la première. Par hypothèse, elle n'a un impact que sur les éclairements transmis au groupe. Sa gestion est manuelle. Son ratio de fermeture $Rprot2_{,b}$ est calculé dans les locaux occupés, pour la partie de la baie sur laquelle la première protection mobile n'est pas mise en place.

En présence d'une seconde protection mobile (*PM2*=vrai), $Rprot2_{,b}$ se calcule à chaque pas de temps de la manière suivante



C'est-à-dire,

- En période d'occupation (i_{occ_zone}=vrai),
  - si *Etp*** < Ecl2_occ1

$$Rprot2,b = Rprot2_{occ0} + (1 - Rprot2_{occ0}).\frac{Etp^{**}}{Ecl2_{occ1}}$$

  - si *Etp*** ≥ Ecl2_occ1

$Rprot2_{,b}$= 1 (198)

Avec
- $Rprot2_{occ0}$ = 0 (conventionnellement)
- Ecl2_occ1 = *Ecl2_occ1_v* si la première protection mobile est de type volet (*type-PM*=1)
- Ecl2_occ1 = *Ecl2_occ1_se* si la première protection mobile est de type

store enroulable (*type-PM*=2)

Ecl2_occ1 = *Ecl2_occ1_sv* si la première protection mobile est de type store vénitien (*type-PM*=3)

Les valeurs de *Ecl2_occ1_v*, *Ecl2_occ1_se* et de *Ecl2_occ1_sv* (dépendant du type de gestion, de la zone et de la saison) sont stockées dans les matrices suivantes :

matrice M_Ecl2_occ1_v[z]		jour Ecl2_occ1_v
gestion manuelle non motorisée	hiver	
	mi-saison	
	été	
gestion manuelle motorisée	hiver	
	misaison	
	été	
dérogation	hiver	
	mi-saison	
	été	

Figure 56 : matrice pour calculer le seuil d'éclairement de PM2 lorsque PM1 est de type volet

matrice M_Ecl2_occ1_se[z]		jour Ecl2_occ1_se
gestion manuelle non motorisée	hiver	
	mi-saison	
	été	
gestion manuelle motorisée	hiver	
	misaison	
	été	
dérogation	hiver	
	mi-saison	
	été	

Figure 57 : matrice pour calculer le seuil d'éclairement de PM2 lorsque PM1 est de type store enroulable

matrice M_Ecl2_occ1_sv[z]		jour Ecl2_occ1_sv
gestion suntracking (type-GPM-sv=1)	hiver	
	mi-saison	
	été	
gestion manuelle (type-GPM-sv=2)	hiver	
	misaison	
	été	
gestion automatique 45° (type-GPM-sv=3)	hiver	
	mi-saison	
	été	

Figure 58 : matrice pour calculer le seuil d'éclairement de PM2 lorsque PM1 est de type store vénitien

- En période d'inoccupation (i_{occ_zone}=faux), par convention, la seconde protection mobile n'est pas descendue :

$$Rprot2_{,b} = 0 \quad (199)$$

2) S'il n'y a pas de seconde protection mobile (*PM2*=faux),

$$Rprot2_{,b} = 0 \quad (200)$$

5.9.3.6 *Calcul des ratios de fermeture des PM dans Th-D*

Le calcul des ratios de fermeture reprend sensiblement le même principe que celui décrit pour les modes Th_BC (cf §5.9.3.3.2 et §5.9.3.5), à la différence près qu'en saison de confort adaptatif, une nouvelle ligne spécifique au mode Th_D est utilisée dans les matrices Th_BC lorsque *Topj-1$_{max}$ est supérieure à* Topj-1lim_manu (pour rappel cette valeur est fixée conventionnellement à 26,5°C). *Dans ce cas,* seules les valeurs Rprot0 sont modifiées, les seuils d'éclairement sont conservés. Il est également supposé dans ces conditions extrêmes, *Topj-1$_{max}$ est supérieure à* Topj-1lim_manu, la PM2, si elle est présente, est désactivée, celle-ci influant seulement sur l'éblouissement et non le confort thermique calculé dans ce mode.

La variable Is_PM2_active est calculée de la manière suivante :

Si Is$_{conf_adapt}$=1

Si *Topj-1$_{max}$* ≥ Topj-1lim_manu

Is_PM2_active = 0

Sinon (201)

Is_PM2_active = PM2

Sinon

Is_PM2_active = PM2

Le Tableau 34 détaille l'ensemble des valeurs de Rprot0 admissible en mode Th_D lorsque *Topj-1$_{max}$ est supérieure à* Topj-1lim_manu. Ces valeurs ont été définies de sorte de respecter les hypothèses suivantes :

- ratio de fermeture adaptés à l'évaluation du confort d'été
- conservation des différences entre modes de gestion
- favoriser la surventilation nocturne sans négliger les critères de sécurité
- réduire les apports solaires en inoccupation
- Pas d'impact du détecteur de présence

L'algorithme de calcul est alors le suivant

Si *Is$_{conf_adapt}$*=0 (hors période de confort adaptatif) (202)

Mêmes valeurs qu'au paragraphe 5.9.3.3.2.

Si *Is$_{conf_adapt}$*=1 (en période de confort adaptatif)

Si Type-PM=1 (volets)

Si *Topj-1$_{max}$* < Topj-1lim_manu_v[z] (203)

Mêmes valeurs qu'au paragraphe 5.9.3.3.2.

Si *Topj-1$_{max}$* ≥ Topj-1lim_manu_v[z]

(voir coeff. Tableau 34) et Rprot2,b=0

Si Type-PM=2 (stores enroulables)

Si $Topj\text{-}1_{max}$ < Topj-1lim_manu_se[z]

Mêmes valeurs qu'au paragraphe 5.9.3.3.2. (204)

Si $Topj\text{-}1_{max}$ ≥ Topj-1lim_manu_se[z]

(voir coeff. Tableau 34) et Rprot2,b=0

Si Type-PM=3 (stores à lames orientables)

(205)

(voir coeff. Tableau 34)

Rappel : dans les règles Th-D et en période de confort adaptatif ($Is_{conf\_adapt}(h)$=1), les lames du store vénitien sont conventionnellement inclinées à 90°.

		Résidentiel	Bureaux	Enseignement
Volets	Rprot1_manu_occ0_v	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)
	Rprot1_manu_inocc_v	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)	Si Type_GPM=3 : =max(80%; valeur Th-BC) Si Type_GPM≠3: =max(70%; valeur Th-BC)
	Rprot1_manu_occ0_v (jour=nuit)	=min(70%; valeur Th-BC)	=min(50%; valeur Th-BC)	=min(50%; valeur Th-BC)
	Rprot1_manu_inocc_v (jour=nuit)			
Stores enroulables	Rprot1_manu_occ0_se	Idem volets	Idem volets	Idem volets
	Rprot1_manu_inocc_se	Idem volets	Idem volets	Idem volets
	Rprot1_manu _occ0_se (jour=nuit)	50%	50%	50%
	Rprot1_manu_inocc_se (jour=nuit)			
Stores à lames	Rprot1_manu_occ_sv (Etp**≥ Eclim_manu_sv)	90%	90%	90%
	Rprot1_manu_inocc_sv (Etp**≥ Eclim_manu_sv)	70%	70%	70%

Tableau 34 : ratio Rprot0 de la gestion des protections mobiles (GPM) en mode Th-D

5.10 C_BAT_Baie vitrée

5.10.1 INTRODUCTION

La baie transmet de la chaleur et de la lumière qui ont un impact sur la consommation d'énergie d'un bâtiment. La prise en compte coordonnée des effets thermiques et lumineux est nécessaire pour calculer de façon cohérente les consommations d'énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage. L'approche dynamique permet également de prendre en compte les baies et le cas échéant des systèmes de gestion et les automatismes qui lui sont associés. Typiquement, la mise en place de protections solaires a pour effet de réduire les apports solaires et donc de limiter les besoins de froid ou l'augmentation de la température intérieure. Cependant leur mise en place s'accompagne également d'une réduction des apports lumineux qui conduisent à une augmentation du recours à l'éclairage artificiel avec une double conséquence :

- Une augmentation directe de la consommation d'énergie pour faire fonctionner l'éclairage artificiel
- Une augmentation de la chaleur dissipée du fait du recours à l'éclairage artificiel et donc potentiellement une augmentation des besoins de froid ou une élévation de la température intérieure.

Dans la perspective de prendre en compte ces effets antagonistes, la méthode réglementaire évalue la quantité de chaleur qui pénètre dans le local -par transferts à travers les parois par rayonnement solaire, par le flux d'air par les baies ouvertes- et le niveau d'éclairement intérieur à partir du rayonnement incident sur la baie, l'efficacité lumineuse, les caractéristiques de la baies et les caractéristiques géométriques du local.

La méthode n'a pas vocation à estimer le confort visuel. Elle vise à estimer la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel. Il s'agit d'évaluer une autonomie en éclairage. La méthode nécessite de distinguer la contribution des flux lumineux à l'éclairement naturel du local selon la nature du rayonnement (direct, diffus, réfléchi) et selon la position de la baie éclairée ou encore selon la capacité de la baie horizontale à éclairer de façon uniforme ou non. Ainsi il ne s'agit pas d'une baie physique mais d'un ensemble de baies contribuant de la même façon à l'éclairement d'un local. Les flux lumineux sont donc calculés selon leur nature et la position de la baie selon sa capacité à éclairer le plan de travail.

Ce chapitre décrit les paramètres d'une baie vitrée et les calculs effectués au niveau de la baie, à savoir :

- Calcul du coefficient de transmission thermique,
- Calcul des rayonnements solaires globaux transmis au groupe, à travers la baie vitrée et du rayonnement froid vers la voûte céleste,
- Calcul des flux lumineux transmis au groupe à travers la baie vitrée.

La possible installation de stores vénitiens en tant que protections mobiles impose de tenir compte de la hauteur du soleil et de la séparation en direct-diffus-réfléchi des flux solaires et lumineux incidents.

La baie joue un rôle majeur sur le bilan thermo-aéraulique de l'ambiance et sur la lumière naturelle. La méthode utilisée ici simplifie les transferts de chaleur de manière à regrouper les espaces qui sont soumis aux mêmes sollicitations thermiques et aérauliques. Or ce regroupement homogène sur le domaine de la thermique n'est pas toujours en adéquation avec l'homogénéité de l'ambiance lumineuse. Dès lors il est nécessaire d'associer la baie à l'espace qu'elle contribue à éclairer. Rigoureusement il conviendrait d'affecter chaque baie à au local qu'elle contribue à éclairer. Compte tenu des hypothèses réalisées sur les caractéristiques des parois internes et des facteurs de forme entre ces parois, seule l'affectation à un grand volume ou à un volume « normal » est nécessaire. Pour les grands volumes il est par ailleurs nécessaire de savoir si les

éclairants de toiture contribue à éclairer le local de façon uniforme ou non.

Dès lors trois types de baie existent pour l'éclairement naturel intérieur. Les différents types correspondent aux situations suivantes :

- Si la baie appartient à un volume « normal », en opposition au grand volume, alors elle est de type 1 ou encore de type VN.

- Si la baie appartient à un grand volume, il faut distinguer les cas suivants :

    - Si la baie est horizontale et contribue à éclairer de façon uniforme le grand volume elle est considérée de type 2 ou encore de type GVU.

    - Les autres baies du grand volume sont de type 0 ou encore de type GV

Les variables Flt1, Flt2 et Flt3 sont les flux lumineux transmis par chaque baie selon ses caractéristiques intrinsèques (surface, taux de transmission lumineuse sous forme directe ou diffuse), ses caractéristiques relatives (orientation, inclinaison, présence de masques proches et lointains), les données climatiques calculées à chaque pas de temps et l'impact de la gestion ou des comportements qui viennent modifier la position des protections solaires et l'ouverture des baies.

Flt1 est relatif au rayonnement direct incident sur la baie, Flt2 est relatif au rayonnement diffus en direction du sol arrivant sur la baie et Flt3 est relatif au rayonnement diffus en direction du ciel arrivant sur la baie.

5.10.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 35 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de baie vitrée.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. Proche	*Drp**	Rayonnement direct incident	W/m²
	*Dfp**	Rayonnement diffus incident	W/m²
	*Rrp**	Rayonnement réfléchi incident	W/m²
	*Erp**	Eclairement direct incident	lux
	*Efp**	Eclairement diffus incident	lux
	*Errp**	Eclairement réfléchi incident	lux
Espaces tampons	$b_{therm,i,b}$	Coefficient de réduction des déperditions thermique dû à la présence de l'espace tampon *i* sur la baie vitrée *b*	-
	$b_{ecl,i,b}$	Coefficient de réduction de l'éclairement dû à la présence de l'espace tampon i sur la baie vitrée *b*	-
	$b_{solaire,i,b}$	Coefficient de réduction des flux solaires dû à la présence de l'espace tampon *i* sur la baie vitrée *b*	-
	Id_{ET}	Indicateur de présence d'un espace tampon sur la baie vitrée *b* (0-pas d'espace tampon / 1-présence d'un espace tampon)	-
Gestion des PM	$part_{GPM}$	Pourcentage de la surface des baies appartenant aux locaux réellement occupés d'un groupe en période d'occupation	-
	$Rprot1_{partGPM,b}$	Position de la première protection mobile lorsque la baie vitrée *b* appartient au pourcentage «partGPM » des baies du groupe (0 – ouverte, 1 – fermée)	-
	$Rprot1_{1-partGPM,b}$	Position de la première protection mobile lorsque la baie vitrée *b* appartient au pourcentage « 1-partGPM » des baies du groupe (0 – ouverte, 1 – fermée)	-
	$Rprot2_{,b}$	Position de la seconde protection mobile de la baie vitrée *b* (0 – ouverte, 1 – fermée)	-
Météo	γ'	Hauteur du soleil corrigée	°
	Q_{er}^{*}	Densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi	W/m²

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
b	Indice indiquant qu'il s'agit de la baie vitrée *b*	-	-	-	-
$U_{sp,vert,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée verticale *b* sans protection mobile en place	W/m²K	0	+∞	-
$U_{sp,horiz,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée horizontale *b* sans protection mobile en place	W/m²K	0	+∞	-
$U_{ap,vert,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée verticale *b* avec protection mobile en place	W/m²K	0	+∞	-
$U_{ap,horiz,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée horizontale *b* avec protection mobile en place	W/m²K	0	+∞	-
	Pour la baie sans protections mobiles en place				
$Sw1_{sp-c,b}$	Facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* sans protections mobiles	-	0	1	-

	en place, pour le calcul de Cep				
$Sw2_{sp\text{-}c,b}$	Facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{sp\text{-}c,b}$	Facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{sp\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{sp\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{sp\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Tli_{sp,b}$	Facteur de transmission lumineuse global de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place (=$Tld_{sp,b}$)	-	0	1	-
$Tlid_{sp,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place	-	0	1	-
Pour les baies avec PM de type volets ou stores enroulables en place					
$Sw1_{ap\text{-}c,b}$	Facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\text{-}c,b}$	Facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\text{-}c,b}$	Facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\text{-}e,b}$	Facteur solaire, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Tli_{ap,b}$	Facteur de transmission lumineuse global de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tlid_{ap,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux lumineux incident direct transmis sous forme diffuse de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
Pour les baies avec protections mobiles de type stores vénitiens en place					
M_Sw_BC	Matrice des facteurs solaires dans le cas général pour les stores vénitiens pour le calcul des consommations	-	-	-	-
M_Sw_E	Matrice des facteurs solaires dans le cas général pour les stores vénitiens, pour le calcul de confort d'été	-	-	-	-
M_Tl_BCE	Matrice des facteurs de transmission lumineuse pour les stores vénitiens dans le cas général	-	-	-	-
M_suntracking_Sw_BC	Matrice des facteurs solaires pour les stores vénitiens, pour les règles Th-BC si la gestion est suntracking	-	-	-	-
*M_suntracking_Sw_*	Matrice des facteurs solaires pour les stores vénitiens, pour les règles Th-D si la gestion est	-	-	-	-

E	suntracking				
M_suntracking_Tl_BCE	Matrice des facteurs de transmission lumineuse pour les stores vénitiens, pour les règles Th-BCE si la gestion est suntracking	-	-	-	-
M_fixe_Sw_BC	Matrice des facteurs solaires pour les stores vénitiens, pour les règles Th-BC si la gestion est « position fixe »	-	-	-	-
M_fixe_Sw_E	Matrice des facteurs solaires pour les stores vénitiens, pour les règles Th-D si la gestion est « position fixe »	-	-	-	-
M_fixe_Tl_BCE	Matrice des facteurs de transmission lumineuse pour les stores vénitiens, pour les règles Th-BCE si la gestion est « position fixe »	-	-	-	-
$Sw1_{ap\_dir\text{-}c,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil γ et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dif\text{-}c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_ref\text{-}c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dir\text{-}e,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante courte longueur d'onde (directe), , de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil γ et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dif\text{-}e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_ref\text{-}e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dir\text{-}c,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil γ et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dif\text{-}c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_ref\text{-}c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dir\text{-}e,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante grande longueur d'onde + convective, de	-	0	1	-

	la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil *γ* et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données, pour le calcul de DH				
$Sw2_{ap\_dif-e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_ref-e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dir-c,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil *γ* et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dif-c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_ref-c,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée,pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dir-e,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil γ et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dif-e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_ref-e,b}(\alpha_{SV})$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Tli_{ap\_dir,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil *γ* et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données.	-	0	1	-
$Tlid_{ap\_dir,b}(\alpha_{SV},\gamma')$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse pour la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil *γ* et une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} données.	-	0	1	-
$Tld_{ap\_dif,b}(\alpha_{SV})$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident diffus de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée.	-	0	1	-
$Tld_{ap\_ref,b}(\alpha_{SV})$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée.	-	0	1	-

$Tlid_{ap\_ref,b}$ (α_{SV})	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi transmis sous forme diffuse de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α_{SV} donnée.	-	0	1	-
	Pour la baie avec l'éventuelle seconde protection mobile				
$Tli2_{,b}$	Facteur de transmission lumineuse global de la baie vitrée *b* avec la seconde protection mobile en place	-	0	1	0.1
$Tlid2_{,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse de la baie vitrée *b* avec la seconde protection mobile en place	-	0	1	0.1

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
A_b	Surface de la baie vitrée *b*	m²	0	+∞	-
$\alpha_{,b}$	Orientation de la baie d'indice *b*, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord).	°	0	360	-
β_b	Inclinaison de la baie vitrée *b* (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale)	°	0°	90°	-
Type-PM	Type de protection mobile 1 (0-pas de PM / 1-volet / 2-store enroulable / 3-store venitien)	-	0	3	-
Type-GPM	Type de gestion de la première protection mobile de type volets ou stores enroulables (=1 si automatique avec dérogation, =2 si gestion manuelle non motorisée, =3 si gestion manuelle motorisée)	-	1	3	-
Type-GPM-sv	Type de gestion de la première protection mobile de type stores vénitiens (=1 si gestion sun-tracking, =2 si gestion manuelle-position fixe des lames, =3 si gestion automatique 45°)	-	1	3	-
PM2	Présence d'une seconde protection mobile	bool	faux	vrai	-
loc_occ_pass	Position de la baie dans son local (= 0 si la baie dans local à occupation passagère / = 1 si la baie est hors local à occupation passagère).	-	0	1	-
Type_baie	Nature des baies : - 0 : baie verticale affectée à un grand volume ou horizontale affectée à un grand volume mais qui n'est pas éclairé de façon uniforme - 1 : baie horizontale affectée à un grand volume et répartie de façon de manière à éclairer le grand volume de façon uniforme - 2 : baie affectée à un volume normal	-	0	2	
Type_volume	0 : grand volume 1 : volume autre				

Variables internes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Rprot_{,b}$	Ratio de protection de la baie vitrée *b*	-	0	1	-
$U_{sp,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place	W/m²K	0	+∞	-
$U_{ap,b}$	Coefficient de transmission thermique de la baie vitrée *b* avec première protection mobile en place	W/m²K	0	+∞	-
$Sw_{sp\text{-}c,b}$	Facteur solaire global de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place pour le calcul du Cep	-	0	1	-
$Sw_{sp\text{-}e,b}$	Facteur solaire global de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw_{ap\text{-}c,b}$	Facteur solaire global de la baie vitrée *b* avec protection	-	0	1	-

	mobile en place pour le calcul du Cep				
$Sw_{ap\text{-}e,b}$	Facteur solaire global de la baie vitrée *b* avec première protection mobile en place pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Tld_{sp,b}$	Facteur de transmission lumineuse global de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place (=$Tli_{sp,b}$) pour l'éclairement incident diffus.	-	0	1	-
α_{SV}	Inclinaison des lames du store vénitien (0° : lames horizontales ; 90° : lames verticales)	°	0	90°	-
	Jeu de variables internes				
$Sw1_{ap\_dir\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dif\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_ref\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dir\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_dif\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw1_{ap\_ref\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante courte longueur d'onde (directe), de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dir\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dif\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_ref\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dir\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_dif\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw2_{ap\_ref\text{-}e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante grande longueur d'onde + convective, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dir\text{-}c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le	-	0	1	-

	calcul de Cep				
$Sw3_{ap\_dif-c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_ref-c,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de Cep	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dir-e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident direct, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_dif-e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident diffus, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Sw3_{ap\_ref-e,b}$	Facteur solaire du rayonnement incident réfléchi, composante liée à la lame d'air intérieure ventilée, de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place, pour le calcul de DH	-	0	1	-
$Tli_{ap\_dir,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tlid_{ap\_dir,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct sous forme diffuse de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tld_{ap\_dif,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident diffus de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tld_{ap\_ref,b}$	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tlid_{ap\_ref,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi par le sol sous forme directe, transmis sous forme diffuse de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
	Facteurs de transmission lumineuse calculés (direct en direct)				
$Tlii_{sp,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme directe de la baie vitrée *b* sans protections mobiles en place	-	0	1	-
$Tlii_{ap\_dir,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme directe de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tlii_{ap\_ref,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi par le sol, transmis sous forme directe de la baie vitrée *b* avec protection mobile en place	-	0	1	-
$Tlii2_{,b}$	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme directe de la baie vitrée *b* avec la seconde protection mobile en place	-	0	1	0

Sorties

Nom	Description	Unité
$I^*_{sr,b}$	Rayonnement solaire global atteignant la baie vitrée b	W/m²
$Hg_{es,b}$	Facteur de transmission thermique global pour la baie vitrée b entre les environnements intérieurs et extérieurs	W/K
$Fs_{1,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde	W
$Fs_{2,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W

$Fs_{3,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
$Ftvc_{,b}$	Flux transmis dû au rayonnement froid vers la voute céleste	W
$Flt_{1,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b, sous forme directe, l'indice n fait référence au type de la baie, il prend la valeur 0, 1 ou 2.	lumen
$Flt_{2,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme diffuse l'indice n fait référence au type de la baie, il prend la valeur 0, 1 ou 2.	lumen
$Flt_{3,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme réfléchie l'indice n fait référence au type de la baie, il prend la valeur 0, 1 ou 2.	lumen
$Aouvmax_{,b}$	Surface d'ouverture maximale de la baie *b*	m^2
$\alpha_{,b}$	Orientation de la baie d'indice b, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord).	°

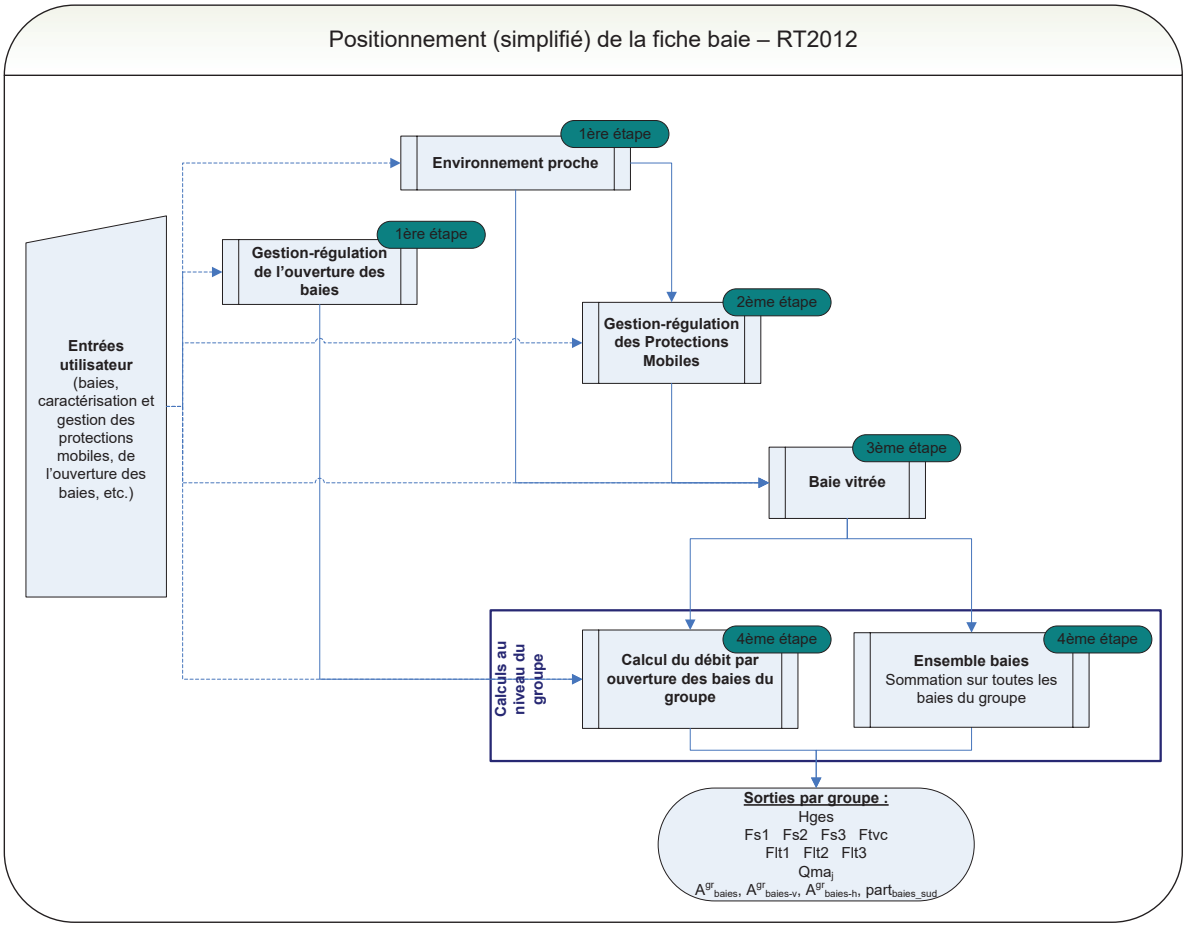
Constantes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Défaut
h_e	Coeff. d'échange global (convectif+radiatif) extérieur	W/m² K	0	+∞	25,0
β_1	Inclinaison de la baie vitrée b en-dessous de laquelle on considère la baie horizontale	°	-	-	30
β_2	Inclinaison de la baie vitrée b au-dessus de laquelle on considère la baie verticale	°	-	-	60
$Rouvmax_{,b}$	Ratio d'ouverture maximale de la baie vitrée b sur la surface totale en tableau	-	0	1	
$f_{lf,b}$	Facteur de perte solaire de la baie vitrée *b*	-	0	1	0

Tableau 35 : Nomenclature des différentes variables du modèle de baie vitrée

5.10.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.10.3.1 ***Structure des calculs***



Dans la figure ci-dessus au niveau du groupe il existe 3 valeurs de Flt1, 3 valeurs de Flt2 et trois valeurs de Flt3, chaque valeur fait référence au type de baie. Cette indexation est indispensable pour le calcul de l'éclairement naturel au niveau du local.

5.10.3.2 ***Détermination du type de baie.***

La nécessité de distinguer le type de baie n'est utile que pour les calculs des flux lumineux.

On regarde si le local est un grand volume ou non. Les locaux de grands volumes sont les suivants :

S'il s'agit d'une zone à usage d'industrie 3*8 ou 8 à 18h et que le local est une aire de production alors il s'agit d'un grand volume.

De même s'il s'agit d'une zone à usage d'établissement sportif scolaire ou établissement sportif municipal ou privé et que le local est une salle de sport alors il s'agit d'un grand volume.

S'il s'agit d'une zone à usage de commerces et que le local a une aire de vente alors il s'agit d'un grand volume.

Si le local est un grand volume alors Vol-local =1

On regarde ensuite si la baie a horizontale ou non.

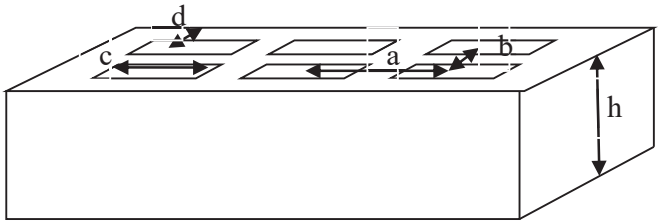
Si β_b=0 alors la baie est horizontale sinon c'est autre

Pour les baies horizontales affectées à un grand volume il convient de savoir si elles sont réparties de façon uniforme de manière à assurer un éclairage homogène au grand volume ou non. Pour que des baies horizontales, également appelées éclairants de toiture, soient dites uniformément réparties sur toute la toiture il faut que la distance entre deux éclairants soit inférieure à la hauteur du local (distance éclairant-sol) et que la distance entre les éclairants périphériques et la périphérie soit inférieure à la moitié de la hauteur du local. Les distances sont comptées à partir du centre des éclairants.

Dans le cas contraire les éclairants de toiture ne sont pas répartis uniformément.

Dans les locaux autres que de grand volume les éclairants de toiture sont considérés automatiquement non répartis uniformément.

Dans la figure suivante Les éclairants de toiture sont uniformément répartis si a<h ; b<h ; c<h/2 et d<h/2.



Si β_b<>0 alors la baie n'est pas horizontale. Pour celles affectées à un autre local que les grands volumes on lit la part de la baie située en dessous du plan de travail (*Part_baie*$_{sous\_plan}$). Les baies affectées à un grand volume sont entièrement situées au-dessus du plan de travail car ce dernier est considéré au niveau du sol.

Chaque baie aura alors l'indice b(n) pour chacune de ces caractéristiques avec n=[0 ;2] selon le tableau suivant. La nécessité de faire des sommes différentes selon la valeur de n ne se justifie que pour le calcul de Flt1, Flt2 et Flt3. Dès lors dans la suite du chapitre seules les grandeurs qui interviennent dans ces valeurs sont affectées de l'indice n.

Volume	**Grand**			**Normal**	
Inclinaison de la baie	verticale	Horizontale		verticale	Horizontale
Répartition des baies	Sans objet	non uniformément	uniformément	Sans objet	Sans objet : non uniforme
Régression	Type 0 ou GV	Type 0 ou GV	Type 1 ou GVU	Type 2 ou VN	Type 2 ou VN

5.10.3.3 *Calcul des rayonnements solaires globaux*

Le rayonnement solaire global atteignant la baie vitrée b (avec ou sans protections mobiles) s'écrit :

$$I^*_{sr,b} = Drp^*_b + Dfp^*_{,b} + Rrp^*_{,b} \qquad (206)$$

5.10.3.4 *Présence d'un espace tampon*

Un espace tampon peut être accolé à la baie de surface totale *Ab*. Il est convenu que les baies vitrées ne peuvent donner que sur des espaces tampons vitrés.

La présence d'un espace tampon aura pour conséquence de modifier les flux solaire et lumineux incidents ainsi que les déperditions thermiques de la baie.

5.10.3.5 *Calcul du coefficient de transfert thermique global*

5.10.3.5.1 Calcul des coefficients de transfert thermique Uap,b et Usp,b

Les coefficients de transmission thermique sans et avec protections mobiles ($U_{sp,b}$ et $U_{ap,b}$) sont calculés en tenant compte de l'inclinaison de la baie, sur le principe du schéma suivant

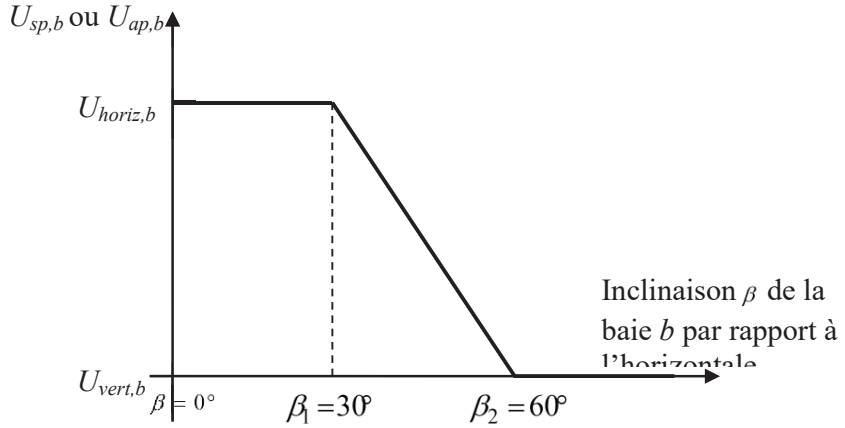


Figure 59 : Evolution du coefficient de transmission thermique de la baie en fonction de son inclinaison

Où β est l'angle, exprimé en degré, entre l'horizontale et le plan de la baie.

Autrement dit, pour la baie sans protections mobiles :

- si $0° \leq \beta < \beta_1$, la baie est supposée horizontale

$$U_{\mathrm{sp,b}} = U_{\mathrm{sp,horiz,b}}$$

- si $\beta_1 \leq \beta < \beta_2$, le coefficient de transmission thermique $U_{sp,b}$ est calculé par interpolation linéaire entre la position horizontale et la position verticale

$$U_{\mathrm{sp,b}}(\beta) = \frac{U_{\mathrm{sp,vert,b}} - U_{\mathrm{sp,horiz,b}}}{\beta_2 - \beta_1} \cdot \beta + \frac{\beta_2 \cdot U_{\mathrm{sp,horiz,b}} - \beta_1 \cdot U_{\mathrm{sp,vert,b}}}{\beta_2 - \beta_1} \quad (207)$$

- si $\beta_2 \leq \beta \leq 90°$, la baie est supposée verticale

$$U_{\mathrm{sp,b}} = U_{\mathrm{sp,vert,b}}$$

Le principe est le même pour la baie avec protections mobiles :

- si $0° \leq \beta < \beta_1$, la baie est supposée horizontale

$$U_{\text{ap,b}} = U_{\text{ap,horiz,b}}$$

- si $\beta_1 \leq \beta < \beta_2$, le coefficient de transmission thermique $U_{ap,b}$est calculé par interpolation linéaire entre la position horizontale et la position verticale

$$U_{\text{ap,b}}(\beta) = \frac{U_{\text{ap,vert,b}} - U_{\text{ap,horiz,b}}}{\beta_2 - \beta_1} \cdot \beta + \frac{\beta_2 \cdot U_{\text{ap,horiz,b}} - \beta_1 \cdot U_{\text{ap,vert,b}}}{\beta_2 - \beta_1} \quad (208)$$

- si $\beta_2 \leq \beta \leq 90°$, la baie est supposée verticale

$$U_{\text{ap,b}} = U_{\text{ap,vert,b}}$$

5.10.3.5.2 Calcul du coefficient Hges,b

Le ratio de fermeture de la baie *b* par la première protection mobile s'exprime

- s'il n'y a pas de protection mobile (*type-PM*=0)

$$Rprot1_{partGPM,b} = Rprot1_{1-partGPM,b} = 0 \quad (209)$$

- s'il y a une protection mobile (*type-PM*≠0)

$$Rprot1_b = part_{GPM}.Rprot1_{partGPM,b} + (1 - part_{GPM}).Rprot1_{1-partGPM,b}$$

Le coefficient de transfert thermique global pour la baie vitrée entre les environnements intérieur et extérieur, $Hg_{es,b}$, est calculé de la manière suivante :

- si la gestion de la protection mobile est manuelle

C'est-à-dire si *type-GPM*=2 ou si *type-GPM*=3 ou si *type-GPM-sv*=2

$$\text{Hg}_{\text{es,b}} = A_b \cdot b_{\text{therm,b}} \cdot \left(\left(1 - \text{Rprot}_{,\text{b}}\right) \cdot U_{\text{sp,b}} + \left(\text{Rprot}_{,\text{b}}\right) \cdot U_{\text{ap,b}} \right) \quad (210)$$

- si la gestion de la protection mobile est automatique, (la gestion est soit automatique, soit en dérogation manuelle)

GROUPE APPARTENANT A UNE ZONE OCCUPEE

$Part_{GPM}$ - Gestion en dérogation manuelle - $Rprot1_{Part\_GPM}$	(1-$Part_{GPM}$) - Gestion automatique - $Rprot1_{1-Part\_GPM}$

C'est-à-dire si type-GPM=1 ou si type-GPM-sv=1 ou si type-GPM-sv=3,

- si $0 \leq \text{Rprot1}_{\text{1-partGPM,b}} < 1$

$$\text{Hg}_{\text{es,b}} = A_b \cdot b_{\text{therm,b}} \cdot \begin{bmatrix} \text{part}_{\text{GPM}} \cdot \left(\text{Rprot1}_{\text{partGPM,b}} \cdot U_{\text{ap,b}} + (1 - \text{Rprot1}_{\text{partGPM,b}}) \cdot U_{\text{sp,b}}\right) + \\ (1 - \text{part}_{\text{GPM}}) \cdot U_{\text{sp,b}} \end{bmatrix} \quad (211)$$

- si $\mathrm{Rprot1}_{\text{1-partGPM,b}} = 1$,

$$\mathrm{Hg}_{\mathrm{es,b}} = A_b \cdot b_{\mathrm{therm,b}} \cdot \begin{bmatrix} \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \left(\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM,b}} \cdot U_{\mathrm{ap,b}} + (1 - \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM,b}}) \cdot U_{\mathrm{sp,b}}\right) + \\ (1 - \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot U_{\mathrm{ap,b}} \end{bmatrix}$$

Note : l'inclinaison de la baie n'a d'impact que sur le coefficient de transmission thermique. Pour la suite des calculs, on gardera la convention suivante : une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal (β) est égal ou supérieur à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés.

Note2 : une orientation est attribuée aux parois horizontales afin de leur associer les masques lointains correspondants.

Note3 : en gestion manuelle, $Rprot_{partGPM}$ caractérise le pourcentage de protections mobiles entièrement descendues alors qu'en gestion automatique $Rprot_{partGPM}$ caractérise le pourcentage de la surface totale de baies couvertes.

5.10.3.6 *Création d'un jeu de variables simplifiées*

La création d'un jeu de variables internes, utilisé notamment pour le calcul des flux solaires et lumineux transmis au groupe, permet d'alléger les notations pour la partie de la baie avec protections mobiles en place.

5.10.3.6.1 Jeu de variables internes

La création d'un jeu de variables internes simplifiées (cf. ci-dessous, uniquement pour la partie de la baie avec protections mobiles) facilite la suite des calculs.

Flux incidents ->	**Direct**	**Diffus**	**Réfléchi**
Composante 1 -CLO	$Sw1_{ap\_dir\text{-}c}$	$Sw1_{ap\_dif\text{-}c}$	$Sw1_{ap\_ref\text{-}c}$
Composante 2 – GLO+convectif	$Sw2_{ap\_dir\text{-}c}$	$Sw2_{ap\_dif\text{-}c}$	$Sw2_{ap\_ref\text{-}c}$
Composante 3 -lame d'air ventilée	$Sw3_{ap\_dir\text{-}c}$	$Sw3_{ap\_dif\text{-}c}$	$Sw3_{ap\_ref\text{-}c}$

Tableau 36 : Facteurs solaires pour Th-BC

Flux incidents ->	**Direct**	**Diffus**	**Réfléchi**
Composante 1 -CLO	$Sw1_{ap\_dir\text{-}e}$	$Sw1_{ap\_dif\text{-}e}$	$Sw1_{ap\_ref\text{-}e}$
Composante 2 – GLO+convectif	$Sw2_{ap\_dir\text{-}e}$	$Sw2_{ap\_dif\text{-}e}$	$Sw2_{ap\_ref\text{-}e}$
Composante 3 -lame d'air ventilée	$Sw3_{ap\_dir\text{-}e}$	$Sw3_{ap\_dif\text{-}e}$	$Sw3_{ap\_ref\text{-}e}$

Tableau 37 : Facteurs solaires pour Th-D

	Direct	Diffus	Réfléchi
Facteur global	Tli_{ap_dir}	Tld_{ap_dif}	Tli_{ap_ref}
Part direct -> diffus	$Tlid_{ap\_dir}$		$Tlid_{ap\_ref}$

Tableau 38 : Facteurs de transmission lumineuse pour Th-BCDE

Ces paramètres sont utilisés aux paragraphes 5.10.3.7 et 5.10.3.8

5.10.3.6.2 Traitement des données des stores vénitiens – préprocesseur Th-BCE

Ce paragraphe a pour objectif le calcul des composantes du facteur solaire et du taux de transmission lumineuse lorsque la protection mobile est de type store vénitien, dans un cadre réglementaire. Le principe est d'attribuer à chaque variable interne l'entrée utilisateur correspondante.

Hypothèse : la baie accueillant un store vénitien ne peut être que verticale ($\beta = 90°$).

5.10.3.6.2.1 Hypothèses Th-BCE

En gestion « sun tracking »

Si la gestion des stores vénitiens est de type « sun tracking » (*type-GPM-sv*=1), on fait l'hypothèse que les lames restent perpendiculaires au rayonnement solaire incident.

- Pour Th-BC, on impose : α_{SV} = 90°- *γ'* pour tous les coefficients

- Pour Th-D, on impose : α_{SV} = 90° (conventionnel)

Les lames étant verticales, les coefficients de la matrice ne dépendent pas de la hauteur du soleil *γ'*.

En gestion « position fixe »

Si la gestion des stores vénitiens est de type « position fixe » (*type-GPM-sv*=2 et *type-GPM-sv*=3), la position des lames est fixe.

- Pour Th-BC, on impose : α_{SV} = 45° pour tous les coefficients.

Sw1$_{ap\_dir\text{-}c,b}$, *Sw2*$_{ap\_dir\text{-}c,b}$ et *Sw3*$_{ap\_dir\text{-}c,b}$, *Tli*$_{\_ap\_dir,b}$ et *Tlid*$_{\_ap\_dir,b}$ ne dépendent que de la hauteur du soleil γ'. Les autres coefficients de la matrice sont constants

- Pour Th-D, on impose : α_{SV} = 90° (conventionnel)

Les lames étant verticales, les coefficients de la matrice ne dépendent pas de la hauteur du soleil γ'.

5.10.3.6.2.2 Entrées

Pour les règles Th-BCE, les entrées sont

- la hauteur du soleil corrigée *γ'*

- le type de gestion (sun tracking ou position fixe)

- les valeurs de facteurs solaires et de taux de transmission lumineuse (dépendants de la hauteur du soleil et de l'inclinaison des lames) sont issues des matrices suivantes :

En gestion « suntracking »

Les données d'entrée se résument alors aux cases colorées ci-dessous :

Sun tracking			M_suntracking_Sw_BC																					
			Sw _ap_dir,b																		Sw _ap_diff,b			Sw _ap_ref,b		
hauteur du soleil			0°			15°			30°			45°			60°			75°								
composantes du facteur solaire			Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3
inclinaison des lames		90																								
		75																								
		60																								
	/	45																								
		30																								
		15																								
	-	0																								
		-15																								
		-30																								
	\	-45																								
		-60																								
		-75																								
		-90																								

Facteurs solaires pour Th-BC (matrice M_suntracking_Sw_BC)

Sun tracking			M_suntracking_Sw_E																					
			Sw _ap_dir,b																		Sw _ap_diff,b			Sw _ap_ref,b		
hauteur du soleil			0°			15°			30°			45°			60°			75°								
composantes du facteur solaire			Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3
inclinaison des lames		90																								
		75																								
		60																								
	/	45																								
		30																								
		15																								
	-	0																								
		-15																								
		-30																								
	\	-45																								
		-60																								
		-75																								
		-90																								

Facteurs solaires pour Th-D (matrice M_suntracking_Sw_D)

Sun tracking			M_suntracking_Tl_BCE																	
			Tli_ap_dir,b														Tld_ap_diff,b	Tld_ap_ref,b		
hauteur du soleil			0°		15°		30°		45°		60°		75°							
composantes du Tl			Tl_global	Tlid_dir	Tl_global	Tlid_dir	Tl_global	Tlid_dir	Tl_global	Tlid_dir	Tl_global	Tlid_dir	Tl_global	Tlid_dir				Tl_global	Tlid_ref	
inclinaison des lames		90																		
		75																		
		60																		
	/	45																		
		30																		
		15																		
	-	0																		
		-15																		
		-30																		
	\	-45																		
		-60																		
		-75																		
		-90																		

Facteurs de transmission lumineuse pour Th-BC et pour Th-D
(matrice M_suntracking_Tl_BCE)

En « position fixe »

Les données d'entrée se résument alors aux cases colorées ci-dessous :

Position fixe			M_fixe_Sw_BC																						
			Sw _ap_dir,b																		Sw _ap_diff,b			Sw _ap_ref,b	
hauteur du soleil γ'			0°			15°			30°			45°			60°			75°							
composantes du facteur solaire			Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3
inclinaison des lames	|	90																							
		75																							
		60																							
	/	45																							
		30																							
		15																							
	-	0																							
		-15																							
		-30																							
	\	-45																							
		-60																							
		-75																							
	|	-90																							

Facteurs solaires pour Th-BC (matrice M_fixe_Sw_BC)

Position fixe			M_fixe_Sw_E																						
			Sw _ap_dir,b																		Sw _ap_diff,b			Sw _ap_ref,b	
hauteur du soleil γ'			0°			15°			30°			45°			60°			75°							
composantes du facteur solaire			Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3	Sw1	Sw2	Sw3
inclinaison des lames	|	90																							
		75																							
		60																							
	/	45																							
		30																							
		15																							
	-	0																							
		-15																							
		-30																							
	\	-45																							
		-60																							
		-75																							
	|	-90																							

Facteurs solaires pour Th-D (matrice M_fixe_Sw_D)

Position fixe			M_fixe_Tl_BCE																	
			Tli_ap_dir,b / Tlid_ap_dir,b														Tld_ap_diff,b	Tld_ap_ref,b / Tlid_ap_ref,b	
hauteur du soleil γ'			0°		15°		30°		45°		60°		75°							
composantes du Tl			Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir	Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir	Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir	Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir	Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir	Tli_ap_dir	Tlid_ap_dir				Tld_ap_ref	Tlid_ap_ref
inclinaison des lames	|	90																		
		75																		
		60																		
	/	45																		
		30																		
		15																		
	-	0																		
		-15																		
		-30																		
	\	-45																		
		-60																		
		-75																		
	|	-90																		

Facteurs de transmission lumineuse pour Th-BC et pour Th-D
(matrice M_fixe_Tl_BCE)

5.10.3.6.2.3 Calculs des facteurs solaires et des facteurs de transmission lumineuse

Les facteurs solaires et les facteurs de transmission lumineuse s'écrivent comme suit.

Dans Th-BC,

- en gestion « suntracking », avec $\gamma' \in \{0, 15, 30, 45, 60, 75\}$
et $\alpha_{SV} = 90° - \gamma'$ (212)

- en « position fixe », avec $\gamma' \in \{0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°\}$ et $\alpha_{SV} = 45°$

$$Sw1_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw1_{ap\_dir\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV},\ \gamma')$$

$$Sw1_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw1_{ap\_dif\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Sw1_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw1_{ap\_ref\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Sw2_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw2_{ap\_dir\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV},\ \gamma')$$

$$Sw2_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw2_{ap\_dif\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Sw2_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw2_{ap\_ref\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Sw3_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw3_{ap\_dir\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV},\ \gamma')$$

$$Sw3_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw3_{ap\_dif\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Sw3_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw3_{ap\_ref\text{-}c,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Tli_{ap\_dir,b} = Tli_{ap\_dir,b}\ (\alpha_{SV},\ \gamma')$$

$$Tld_{ap\_dif,b} = Tld_{ap\_dif,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Tld_{ap\_ref,b} = Tld_{ap\_ref,b}\ (\alpha_{SV})$$

$$Tlid_{ap\_dir,b} = Tlid_{ap\_dir,b}\ (\alpha_{SV},\ \gamma')$$

$$Tlid_{ap\_ref,b} = Tlid_{ap\_ref,b}\ (\alpha_{SV})$$

Dans Th-D, les lames sont conventionnellement verticales (α_{SV} = 90°). Les taux de transmission lumineuse ne dépendent donc pas de la hauteur du soleil.

Les variables internes ci-dessous sont donc directement égales aux paramètres intrinsèques.

$$Sw1_{ap\_dir\text{-}e,b},\ Sw1_{ap\_dif\text{-}e,b},\ Sw1_{ap\_ref\text{-}e,b} \quad (213)$$

$$Sw2_{ap\_dir\text{-}e,b},\ Sw2_{ap\_dif\text{-}e,b},\ Sw2_{ap\_ref\text{-}e,b}$$

$$Sw3_{ap\_dir\text{-}e,b},\ Sw3_{ap\_dif\text{-}e,b},\ Sw3_{ap\_ref\text{-}e,b}$$

$$Tli_{ap\_dir,b},\ Tld_{ap\_dif,b},\ Tld_{ap\_ref,b},\ Tlid_{ap\_dir,b},\ Tlid_{ap\_ref,b}$$

5.10.3.6.3 Traitement des données des protections mobiles autres que stores vénitiens

Dans le cas où les protections mobiles ne sont pas de type stores vénitiens (de type volets ou

stores enroulables), les données d'entrées ne font pas la distinction entre les rayonnements et flux lumineux incidents directs, diffus et réfléchis. Cependant, afin de pouvoir utiliser les équations décrites ci-après, cette répartition devient nécessaire.

Dans ce cas, on pose

$$Sw1_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw1_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw1_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw1_{ap\text{-}c,b}$$

$$Sw2_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw2_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw2_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw2_{ap\text{-}c,b}$$

$$Sw3_{ap\_dir\text{-}c,b} = Sw3_{ap\_dif\text{-}c,b} = Sw3_{ap\_ref\text{-}c,b} = Sw3_{ap\text{-}c,b}$$

$$Sw1_{ap\_dir\text{-}e,b} = Sw1_{ap\_dif\text{-}e,b} = Sw1_{ap\_ref\text{-}e,b} = Sw1_{ap\text{-}e,b}$$

$$Sw2_{ap\_dir\text{-}e,b} = Sw2_{ap\_dif\text{-}e,b} = Sw2_{ap\_ref\text{-}e,}b = Sw2_{ap\text{-}e,b} \quad (214)$$

$$Sw3_{ap\_dir\text{-}e,b} = Sw3_{ap\_dif\text{-}e,b} = Sw3_{ap\_ref\text{-}e,b} = Sw3_{ap\text{-}e,b}$$

$$Tli_{ap\_dir,b} = Tld_{ap\_dif,b} = Tld_{ap\_ref,b} = Tli_{ap,b}$$

$$Tlid_{ap\_dir,b} = Tlid_{ap\_ref,b} = Tlid_{ap,b}$$

5.10.3.6.4 Valeurs par défaut

Les valeurs par défaut, pouvant faire référence aux règles Th-S, sont écrites ci-dessous pour les protections mobiles autres que les stores vénitiens.

Dans Th-BC, la valeur par défaut du facteur solaire global de la partie de la baie sans protections mobiles est inférieure de 0,1 au facteur solaire dans Th-D.

$$Sw_{sp\text{-}c,b} = Sw_{sp\text{-}e,b} - 0,1$$

$$(\text{où } Sw_{sp\text{-}c,b} = Sw1_{sp\text{-}c,b} + Sw2_{sp\text{-}c,b} + Sw3_{sp\text{-}c,b} \quad (215)$$

$$\text{et } Sw_{sp\text{-}e,b} = Sw1_{sp\text{-}e,b} + Sw2_{sp\text{-}e,b} + Sw3_{sp\text{-}e,b})$$

Dans Th-BC, la valeur du facteur solaire global de la partie de la baie avec protection mobile est par convention égale au facteur solaire dans Th-D.

$$Sw_{ap\text{-}c,b} = Sw_{ap\text{-}e,b}$$

$$(\text{où } Sw_{ap\text{-}c,b} = Sw1_{ap\text{-}c,b} + Sw2_{ap\text{-}c,b} + Sw3_{ap\text{-}c,b} \quad (216)$$

$$\text{et } Sw_{ap\text{-}e,b} = Sw1_{ap\text{-}e,b} + Sw2_{ap\text{-}e,b} + Sw3_{ap\text{-}e,b})$$

La décomposition du facteur solaire en trois composantes *Sw1* / *Sw2* / *Sw3*, pour les parties de la baie avec ou sans protections mobiles, se calculent conformément aux règles Th-S.

Pour la partie de la baie avec protection mobile, les facteurs solaires et les facteurs de transmission lumineuse sont identiques pour les trois flux incidents (solaires ou lumineux) direct, diffus et réfléchi.

$$Sw1_{ap\_dir,b} = Sw1_{ap\_dif,b} = Sw1_{ap\_ref,b} \quad (217)$$

$$Sw2_{ap\_dir,b} = Sw2_{ap\_dif,b} = Sw2_{ap\_ref,b}$$

$$Sw3_{ap\_dir,b} = Sw3_{ap\_dif,b} = Sw3_{ap\_ref,b}$$

$$Tli_{ap\_dir,b} = Tld_{ap\_dif,b} = Tld_{ap\_ref,b}$$

Par défaut, les taux de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse sont nuls pour les parties avec ou sans protection mobile de la baie vitrée

$$Tlid_{sp,b}=0$$
$$Tlid_{ap\_dir,b} = Tlid_{ap\_ref,b}=0 \qquad (218)$$

5.10.3.7 *Calcul des flux de chaleur transmis au groupe par la baie vitrée b*

Quelque soit le type de protections mobiles, le calcul des flux de chaleur transmis au groupe s'effectue de la même manière.

Les flux solaires globaux incidents sur la baie vitrée, sont transmis au groupe sous forme de trois flux de chaleur :

- Flux de chaleur transmis par la baie vitrée au groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde :

$$Fs_{1,\mathrm{b}} = A_b \cdot b_{solaire,b} \cdot \left(1 - f_{\mathrm{lf,b}}\right) \times \left[\left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot \mathrm{Sw1}_{\mathrm{sp,b}} \cdot I^*_{sr,b} + R_{\mathrm{prot,b}} \cdot \begin{pmatrix} \mathrm{Sw1}_{\mathrm{ap\_dir,b}} \cdot Drp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw1}_{\mathrm{ap\_dif,b}} \cdot Dfp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw1}_{\mathrm{ap\_ref,b}} \cdot Rrp*_{,b} \end{pmatrix}\right] \quad (219)$$

$F_{lf,b}$ est le facteur de pertes solaires. Il prend en compte le pourcentage de flux réfléchi par les parois internes du groupe vers l'extérieur. Il est supposé nul.

- Flux de chaleur transmis par la baie vitrée au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif :

$$\mathrm{Fs}_{2,\mathrm{b}} = A_b \cdot b_{solaire,b} \cdot \left[\left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot \mathrm{Sw2}_{\mathrm{sp,b}} \cdot I^*_{sr,b} + R_{\mathrm{prot,b}} \cdot \begin{pmatrix} \mathrm{Sw2}_{\mathrm{ap\_dir,b}} \cdot Drp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw2}_{\mathrm{ap\_dif,b}} \cdot Dfp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw2}_{\mathrm{ap\_ref,b}} \cdot Rrp*_{,b} \end{pmatrix}\right] \quad (220)$$

- Flux de chaleur transmis par la baie vitrée au groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure) :

$$Fs_{3,\mathrm{b}} = A_b \cdot b_{solaire,b} \cdot \left[\left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot \mathrm{Sw3}_{\mathrm{sp,b}} \cdot I^*_{sr,b} + R_{\mathrm{prot,b}} \cdot \begin{pmatrix} \mathrm{Sw3}_{\mathrm{ap\_dir,b}} \cdot Drp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw3}_{\mathrm{ap\_dif,b}} \cdot Dfp*_{,b} + \\ \mathrm{Sw3}_{\mathrm{ap\_ref,b}} \cdot Rrp*_{,b} \end{pmatrix}\right] \quad (221)$$

- Flux de chaleur transmis au groupe à travers la baie vitrée b, dû au rayonnement froid vers la voute céleste :

Si Id_{ET}=0

$$Ftvc_{,b} = A_b \cdot \left(\left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot \frac{U_{\mathrm{sp,b}}}{h_e} + R_{\mathrm{prot,b}} \cdot \frac{U_{\mathrm{ap,b}}}{h_e}\right) \cdot Q_{er}* \quad (222)$$

Sinon

$$Ftvc_{,b} = 0$$

Note : Q_{er}* tient compte de l'inclinaison de la baie.

Note2 : en présence d'un espace tampon, le flux de chaleur transmis au groupe à travers la baie vitrée b, dû au rayonnement froid vers la voute céleste est supposé nul.

Avec,

- dans Th-BC,

$$Sw1_{sp,b} = Sw1_{sp-c,b} \quad \begin{matrix} Sw1_{ap\_dir,b} = Sw1_{ap\_dir-c,b} \\ Sw1_{ap\_dif,b} = Sw1_{ap\_dif-c,b} \\ Sw1_{ap\_ref,b} = Sw1_{ap\_ref-c,b} \end{matrix}$$

$$Sw2_{sp,b} = Sw2_{sp-c,b} \quad \begin{matrix} Sw2_{ap\_dir,b} = Sw2_{ap\_dir-c,b} \\ Sw2_{ap\_dif,b} = Sw2_{ap\_dif-c,b} \\ Sw2_{ap\_ref,b} = Sw2_{ap\_ref-c,b} \end{matrix} \qquad (223)$$

$$Sw3_{sp,b} = Sw3_{sp-c,b} \quad \begin{matrix} Sw3_{ap\_dir,b} = Sw3_{ap\_dir-c,b} \\ Sw3_{ap\_dif,b} = Sw3_{ap\_dif-c,b} \\ Sw3_{ap\_ref,b} = Sw3_{ap\_ref-c,b} \end{matrix}$$

- dans Th-D,

$$Sw1_{sp,b} = Sw1_{sp-e,b} \quad \begin{matrix} Sw1_{ap\_dir,b} = Sw1_{ap\_dir-e,b} \\ Sw1_{ap\_dif,b} = Sw1_{ap\_dif-e,b} \\ Sw1_{ap\_ref,b} = Sw1_{ap\_ref-e,b} \end{matrix}$$

$$Sw2_{sp,b} = Sw2_{sp-e,b} \quad \begin{matrix} Sw_{2ap\_dir,b} = Sw2_{ap\_dir-e,b} \\ Sw2_{ap\_dif,b} = Sw2_{ap\_dif-e,b} \\ Sw2_{ap\_ref,b} = Sw2_{ap\_ref-e,b} \end{matrix} \qquad (224)$$

$$Sw3_{sp,b} = Sw3_{sp-e,b} \quad \begin{matrix} Sw3_{ap\_dir,b} = Sw3_{ap\_dir-e,b} \\ Sw3_{ap\_dif,b} = Sw3_{ap\_dif-e,b} \\ Sw3_{ap\_ref,b} = Sw3_{ap\_ref-e,b} \end{matrix}$$

5.10.3.8 *Calcul des flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b*

Il y a trois types de flux lumineux incidents sur la baie :

- le flux lumineux direct *Erp** ;
- le flux lumineux diffus *Efp** ;
- le flux lumineux provenant du sol *Errp*.*

5.10.3.8.1 Calcul des taux de transmission lumineuse

Taux de transmission du flux incident direct arrivant sur la partie de la baie vitrée sans protection mobile :

$$Tli_{sp,b} = Tlii_{sp,b} + Tlid_{sp,b} \quad (225)$$

Taux de transmission du flux incident diffus arrivant sur la partie de la baie vitrée sans protection mobile :

$$Tld_{sp,b} = Tli_{sp,b} \quad (226)$$

Taux de transmission du flux incident direct sur la partie de la baie vitrée avec protection mobile :

$$Tli_{ap\_dir,b} = Tlii_{ap\_dir,b} + Tlid_{ap\_dir,b} \quad (227)$$

Taux de transmission du flux incident diffus sur la partie de la baie vitrée avec protection mobile :

$$Tld_{ap\_dif,b} \quad (228)$$

Taux de transmission du flux incident réfléchi sur la partie de la baie vitrée avec protection mobile (sous forme directe et sous forme diffuse) :

$$Tld_{ap\_ref,b} = Tlii_{ap\_ref,b} + Tlid_{ap\_ref,b} \quad (229)$$

Taux de transmission du flux incident direct sur la partie de la baie vitrée avec la seconde protection mobile :

$$Tli2_{,b} = Tlii2_{,b} + Tlid_{2,b} \quad (230)$$

Note : la distinction entre direct, diffus et réfléchi est nécessaire si les protections mobiles sont des stores vénitiens.

5.10.3.8.2 Expression des trois flux transmis au groupe par la baie vitrée b

Le type de local éclairé par la baie est lu.

S'il s'agit d'un local autre qu'à grand volume alors la baie prend le type 2. (si Type_volume =1 alors Type_baie=2)

S'il s'agit d'un grand volume alors il faut lire le type de baie.

Si Type_volume = 0 alors lire le type baie Type_baie = 0 ou Type_baie=1

Les flux Flt1, Flt2 et Flt3 sont calculés pour chaque type de baie indice Type_baie prenant la valeur 0, 1 ou 2.

Sans présence d'une deuxième protection mobile

Les flux transmis au groupe s'expriment de la façon suivante (unité : lumen) :

1. *Flt1*$_{,b(Type\_Baie)}$: flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme directe (en provenance du direct hors composantes due au diffusé par la protection)

$$Flt_{1,b(Type\_baie)} = A_b \cdot b_{ecl,b} \cdot \left[R_{\mathrm{prot,b}} \cdot Tlii_{ap\_dir,b} + \left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot Tlii_{sp,b}\right] \cdot Erp * \quad (231)$$

2. *Flt2*$_{,b\ Type\_Baie)}$: flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme diffuse

$$Flt_{2,b,(type\_baie)} = A_b \cdot b_{ecl,b} \cdot \begin{bmatrix} \left[R_{\mathrm{prot,b}} \cdot Tlid_{ap\_dir,b} + \left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot Tlid_{sp,b}\right] \cdot Erp * \\ +\left[R_{\mathrm{prot,b}} \cdot Tld_{ap\_dif,b} + \left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot Tld_{sp,b}\right] \cdot Efp * \\ +\left[R_{\mathrm{prot,b}} \cdot Tlid_{ap\_ref,b} + \left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot Tlid_{sp,b}\right] \cdot ERrp * \end{bmatrix} \quad (232)$$

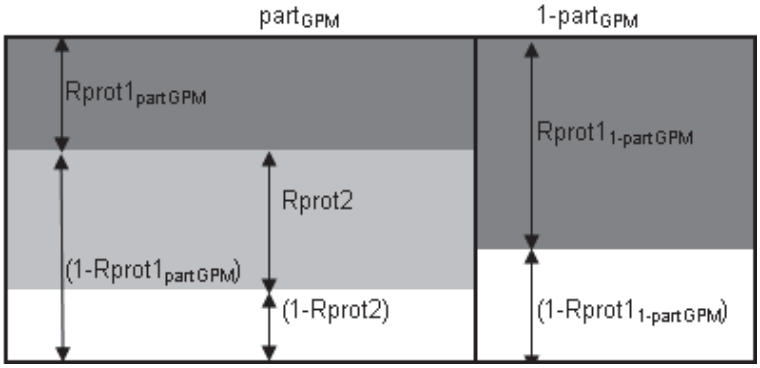
(avec $Tlid_{sp,b}$ nul si on fait l'hypothèse que la baie n'est pas diffusante)

3. *Flt3*$_{,b\ Type\_Baie)}$: flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme réfléchie (en provenance du sol et en direction du plafond, hors composante due au flux diffusé par la protection)

$$Flt_{3,b(type\_baie)} = A_b \cdot b_{ecl,b} \cdot \left[R_{\mathrm{prot,b}} \cdot Tlii_{ap\_ref,b} + \left(1 - R_{\mathrm{prot,b}}\right) \cdot Tlii_{sp,b}\right] \cdot ERrp * \quad (233)$$

En présence d'une 2ème protection mobile *:*

Une seconde protection mobile anti-éblouissement gérée manuellement est susceptible d'être mise en place. Elle ne s'utilise que pour les baies dont la première protection mobile n'est pas descendue et uniquement pour les baies appartenant à *part*$_{GPM}$. Sur le schéma suivant, le ratio de fermeture n'est pas propre à une baie mais à un ensemble de baies.



Eventuellement, la seconde protection mobile (*Rprot2*$_{,b}$) vient s'ajouter, dans la *part*$_{GPM}$ des locaux, à la première protection mobile. Elle est caractérisée par un taux de transmission lumineuse global *Tli2*$_{,b}$ et un taux de transmission du flux incident direct en diffus *Tlid2*$_{,b}$ (le taux de transmission de la composante directe du flux incident en flux direct se déduit de ces deux valeurs).

Ces deux paramètres sont conventionnels dans Th-BCE : le facteur de transmission lumineuse

global est conventionnellement égal à 0,1. Le rayonnement direct est transmis à travers la seconde protection mobile uniquement sous forme diffuse.

$$Tli2_{,b}=0.1$$
$$Tlid2_{,b}=0.1 \quad (234)$$

Les flux lumineux transmis s'écrivent alors

$$\mathrm{Flt}_{1,b,(\mathrm{type\_Baie})} = A_b \cdot b_{\mathrm{ecl,b}} \cdot \begin{bmatrix} \left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}} + (1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot \mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{\mathrm{ap\_dir,b}} \\ +\left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot \mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}}\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{2,\mathrm{b}} \\ +\left[(1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}) + \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}})\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{\mathrm{sp,b}} \end{bmatrix} \cdot \mathrm{Erp}^* \quad (235)$$

$$Flt_{2,b,Type\_baie} = A_b \cdot b_{ecl,b} \cdot \begin{bmatrix} \left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}} + (1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot \mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{\mathrm{ap\_dir,b}} \\ +\left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot \mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}}\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{2,\mathrm{b}} \\ +\left[(1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}) + \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}})\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{\mathrm{sp,b}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}} + (1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot \mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}\right] \cdot \mathrm{Tld}_{\mathrm{ap\_dif,b}} \\ +\left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot \mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}}\right] \cdot \mathrm{Tli}_{2,\mathrm{b}} \\ +\left[(1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}) + \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}})\right] \cdot \mathrm{Tld}_{\mathrm{sp,b}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}} + (1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot \mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{\mathrm{ap\_ref,b}} \\ +\left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot \mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}}\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{2,\mathrm{b}} \\ +\left[(1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}) + \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}})\right] \cdot \mathrm{Tlid}_{\mathrm{sp,b}} \end{bmatrix} \quad (236)$$

$$\mathrm{Flt}_{3,b,,\mathrm{Type\_baie},} = A_b \cdot b_{\mathrm{ecl,b}} \cdot \begin{bmatrix} \left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot \mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}} + (1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot \mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{\mathrm{ap\_ref,b}} \\ +\left[\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot \mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}}\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{2,\mathrm{b}} \\ +\left[(1\text{-}\mathrm{part}_{\mathrm{GPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{1\text{-}\mathrm{partGPM}}) + \mathrm{part}_{\mathrm{GPM}} \cdot (1-\mathrm{Rprot1}_{\mathrm{partGPM}}) \cdot (1-\mathrm{Rprot2}_{,\mathrm{b}})\right] \cdot \mathrm{Tlii}_{\mathrm{s}} \end{bmatrix} \cdot \mathrm{ERrp}^* \quad (237)$$

5.10.3.9 *Calcul de la surface effective d'ouverture de la baie*

La surface effective d'ouverture s'exprime sous la forme

$$\mathrm{Aouvmax}_{,\mathrm{b}} = A_b \cdot \mathrm{Rouvmax}_{,\mathrm{b}} \quad (238)$$

5.11 FA_Classement_au_bruit_d'une_baie

5.11.1 INTRODUCTION

La présente partie précise la démarche de caractérisation du classement au bruit d'une baie d'un bâtiment au sens du chapitre V de l'annexe à l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation.

La détermination des classes d'exposition au bruit (BR1, BR2 BR3) s'effectue en fonction :

1) du classement en catégorie des infrastructures de transports terrestres au voisinage de la construction. Ce classement des voies est donné par un arrêté préfectoral conformément à l'article L 571-10 du code de l'environnement ;

2) de la situation de la baie par rapport à ces infrastructures ;

3) et de la situation du bâtiment par rapport aux zones A, B, C ou D du plan d'exposition au bruit (PEB) de l'aéroport le plus proche. Le PEB est approuvé par un arrêté préfectoral (articles R. 147-10 du code de l'urbanisme).

La détermination du classement BR s'effectue baie par baie en appliquant en fonction de la distance "d" entre la façade étudiée et l'infrastructure et de la 'vue d'une infrastructure depuis une baie'.

5.11.2 LE CLASSEMENT AU BRUIT D'UNE BAIE : BR1- BR2 - BR3

5.11.2.1 ***Classe d'exposition au bruit d'une baie et isolement acoustique de façade :***

La caractérisation du classement au bruit BR correspond à l'article 6 de l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transport terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit :

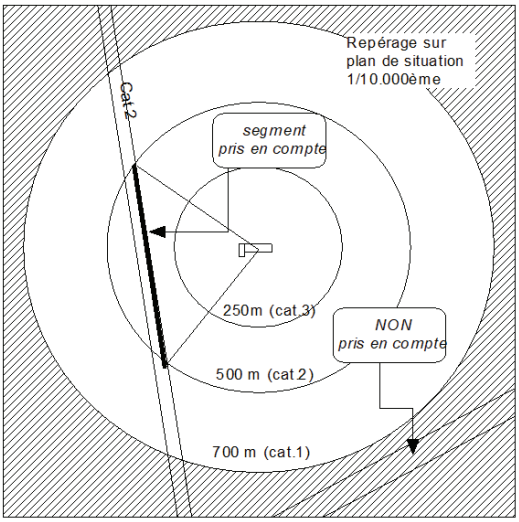
La classe d'exposition BR3 correspond à l'obligation potentielle d'un renforcement de l'isolement acoustique de façade au delà des 30 dB de la réglementation acoustique.

La classe d'exposition BR2 correspond à des niveaux d'exposition plus faibles, spécifiques aux règles thermiques, qui ne nécessitent pas le renforcement de l'isolement acoustique mais qui conduisent pour les chambres à une contrainte thermique d'été liée à l'absence de ventilation nocturne de ce type de local.

La classe d'exposition BR1 correspond à une faible exposition (à l'exception des locaux à occupation passagère)

5.11.3 ETAPE 1 : REPERAGE GENERAL DES INFRASTRUCTURES

La première étape concerne le bâtiment dans son ensemble. Il s'agit de repérer les infrastructures susceptibles d'être prises en compte en particulier les infrastructures de catégorie 1, 2 et 3 qui ne bordent pas l'opération ainsi que les aéroports. Cette tâche s'effectue sur un plan de situation 1/10.000ème.



Catégorie de l'infrastructure	Distance maximale de prise en compte de l'infrastructure
Catégorie 1	700 m
Catégorie 2	500 m
Catégorie 3	250 m
Catégorie 4	100 m
Catégorie 5	30 m
Aéroport	Bâtiment situé en zone D du plan d'exposition au bruit

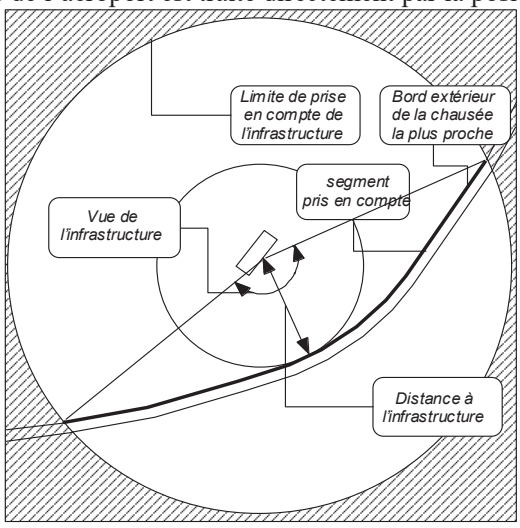
5.11.3.1 ***Détermination du classement BR des baies d'un bâtiment situé dans les zones A, B, C ou D d'un aérodrome :***

Le classement se fait directement selon la position du bâtiment :

	en zone A	en zone B	en zone C	en zone D	Hors zone
Toutes vues	BR3	BR3	BR3	BR2	BR1

5.11.4 ETAPE 2 : DETERMINATION DE LA DISTANCE D'UNE FAÇADE A UNE INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT TERRESTRE

La seconde étape consiste à apprécier la distance de la façade aux infrastructures de transport terrestres (le cas de l'aéroport est traité directement par la position du bâtiment)



La distance de la façade à l'infrastructure est la **plus courte par rapport au bord extérieur de la chaussée la plus proche** (valeur projetée en plan).

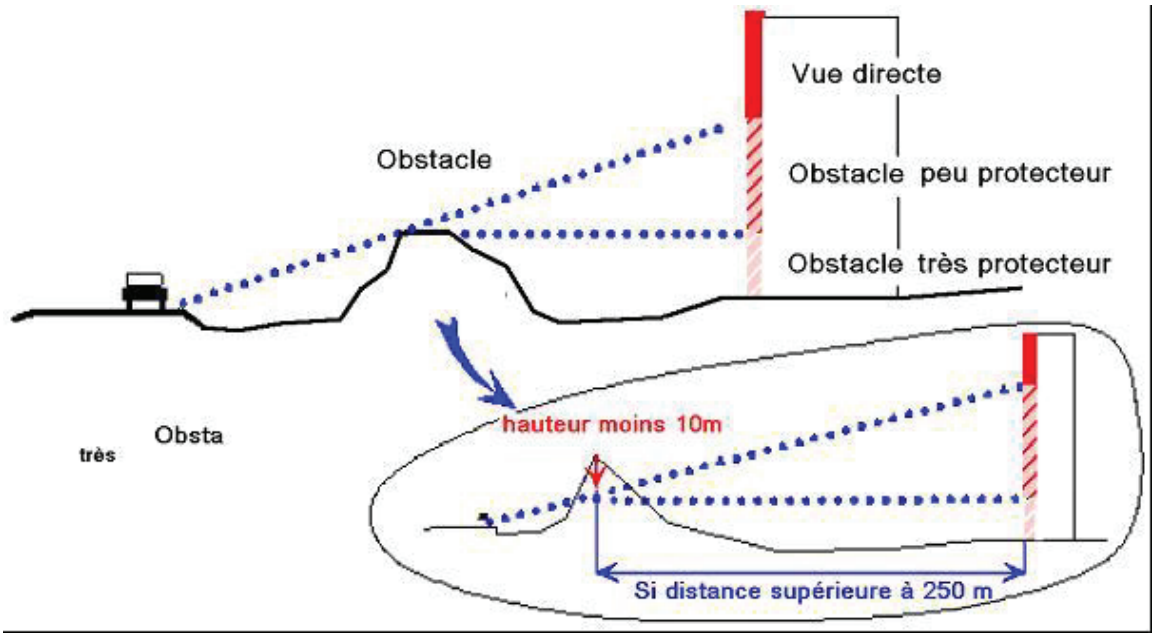
L'approche s'effectue globalement par façade. Dans les cas courants, une simple appréciation d'une baie courante en façade permet se savoir si toutes les baies de la façade considérée sont dans les mêmes conditions de distance et de vue de l'infrastructure.

5.11.5 ETAPE 3 : DETERMINATION DES OBSTACLES

Pour chaque façade et si besoin pour chaque niveau, il convient d'identifier dans la zone de prise en compte de l'infrastructure (étape 2), les éventuels obstacles à la propagation du bruit (bâtiment, écran acoustique, butte de terre...). Ces obstacles sont « très protecteurs » ou « peu protecteurs » selon qu'ils sont plus bas ou plus haut que la baie considérée :

Un **obstacle est « très protecteur »** s'il est situé à une altitude supérieure ou égale à celle de l'étage exposé considéré.

Un **obstacle est « peu protecteur »** s'il est situé à une altitude inférieure à celle de l'étage considéré tout en constituant un masque visuel de l'infrastructure.



5.11.5.1 ***Cas d'un obstacle à plus de 250 m :***

Lorsque l'obstacle est à plus de 250 mètres de la baie considérée et pour tenir compte de l'effet de courbure de la propagation du bruit (inversion thermique nocturne), on ajoute 10 mètres à l'altitude minimale nécessaire à la prise en compte de l'obstacle pour les locaux à usage d'habitation.

5.11.6 ETAPE 4 : DETERMINATION DE LA VUE DE L'INFRASTRUCTURE DE TRANSPORT TERRESTRE DEPUIS UNE BAIE

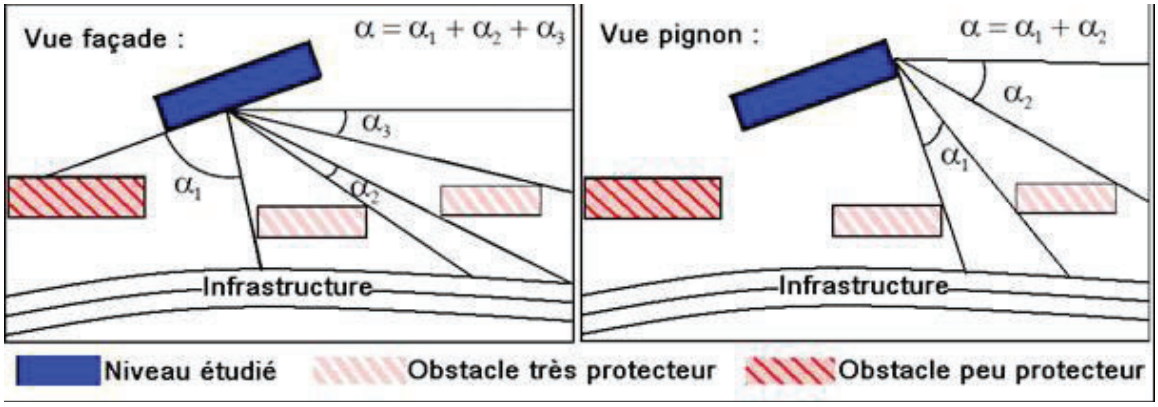
La détermination de la vue de l'infrastructure depuis la baie se fait à partir de la vue en plan de l'infrastructure après avoir déduit les éventuels obstacles à la propagation du bruit (obstacles très protecteurs, obstacles peu protecteurs)

Une **vue directe** s'entend pour une vue en plan de l'infrastructure de plus de 90° après déduction des obstacles très protecteurs à l'exposition.

Une **vue partielle** s'entend pour une vue en plan de l'infrastructure inférieure à 90°, après déduction des obstacles très protecteurs à l'exposition.

Il y a une **vue masquée** de l'infrastructure lorsque l'infrastructure ne peut pas être vue, en tenant compte des obstacles à l'exposition, depuis la baie

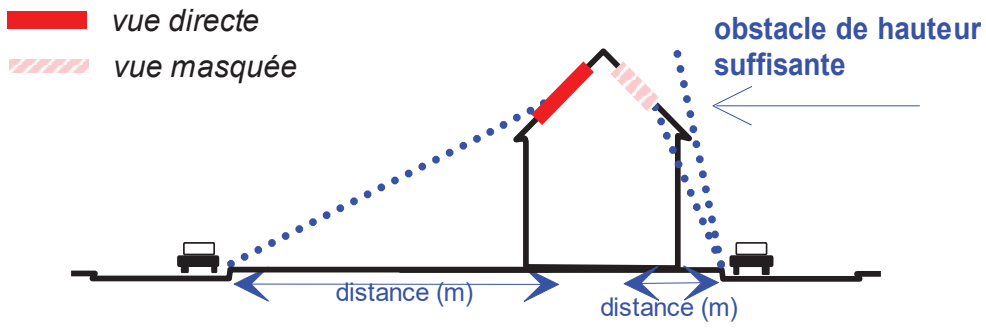
Une **vue arrière** s'entend pour la façade arrière du bâtiment par rapport à l'infrastructure.



Cas particulier : classement au bruit d'une baie inclinée (*) :

(*) le terme « incliné » est défini de manière unique dans les règles thermiques comme une inclinaison inférieure à 60° sur l'horizontale, une baie non inclinée étant « verticale ».

La **distance** de l'infrastructure est déterminée en vue **projetée en plan** par rapport à la **partie centrale de la baie.** La partie basse de la toiture et la façade étant de hauteur suffisante par rapport au niveau considéré, constituent un obstacle très protecteur. En conséquence, **la vue de l'infrastructure** est **considérée comme « directe»** s'il y a une vision directe et **« masquée par un obstacle très protecteur »** dans le cas d'une voie en pied d'immeuble.



Si la baie est en toiture (cas des fenêtres de toit) on peut déterminer BR à partir du centre de la partie de la toiture correspondant au local sur lequel donne la baie (en général, il n'y a que très peu de différence de distance entre ces deux points lorsque la baie est unique, et pas de différence de classement BR s'il y a plusieurs baies).

5.11.6.1 *Cas de plusieurs infrastructures :*

Dans le cas de plusieurs infrastructures (transports terrestres ou aéroports), on retiendra la classe d'exposition au bruit la plus défavorable c'est à dire la plus élevée.

5.11.7 TABLEAUX DE BR POUR LE BRUIT DES TRANSPORTS TERRESTRES

Infrastructure de catégorie 1 :

Vue de l'infrastructure depuis la baie Distance à l'infrastructure	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée par des obstacles		Vue arrière
			peu protecteurs	très protecteurs	
0-65 m	BR3	BR3	BR3	BR3	BR3
65-125 m	BR3	BR3	BR3	BR3	BR2
125-250 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
250-400 m	BR3	BR2	BR2	BR2	BR1
400-550 m	BR2	BR2	BR2	BR1	BR1
550-700 m	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
>700 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

Infrastructure de catégorie 2 :

Vue de l'infrastructure depuis la baie Distance à l'infrastructure	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée par des obstacles		Vue arrière
			peu protecteurs	très protecteurs	
0-30 m	BR3	BR3	BR3	BR3	BR3
30-65 m	BR3	BR3	BR3	BR3	BR2
65-125 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
125-250 m	BR3	BR2	BR2	BR2	BR1
250-370 m	BR2	BR2	BR2	BR1	BR1
370-500 m	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
>500 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

Infrastructure de catégorie 3 :

Vue de l'infrastructure depuis la baie Distance à l'infrastructure	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée par des obstacles		Vue arrière
			peu protecteurs	très protecteurs	
0-25 m	BR3	BR3	BR3	BR3	BR2
25-50 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
50-100 m	BR3	BR2	BR2	BR2	BR1
100-160 m	BR2	BR2	BR2	BR1	BR1
160-250 m	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
>250 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

Infrastructure de catégorie 4 :

Vue de l'infrastructure depuis la baie Distance à l'infrastructure	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée par des obstacles		Vue arrière
			peu protecteurs	très protecteurs	
0-15 m	BR3	BR3	BR3	BR2	BR2
15-30 m	BR3	BR2	BR2	BR2	BR1
30-60 m	BR2	BR2	BR2	BR1	BR1
60-100 m	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
>100 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

Infrastructure de catégorie 5 :

Vue de l'infrastructure depuis la baie Distance à l'infrastructure	Vue directe	Vue partielle	Vue masquée par des obstacles		Vue arrière
			peu protecteurs	très protecteurs	
0-10 m	BR3	BR2	BR2	BR2	BR1
10-20 m	BR2	BR2	BR2	BR1	BR1
20-30 m	BR2	BR1	BR1	BR1	BR1
>30 m	BR1	BR1	BR1	BR1	BR1

5.12 C_BAT_Perméabilité_des_PM

5.12.1 INTRODUCTION

Lorsqu'une protection mobile est abaissée, elle réduit la surface de passage de l'air. Le débit d'air maximal disponible par ouverture des baies est donc plus faible.

L'objectif de cette fiche algorithme est de calculer la surface équivalente de passage de l'air pour une baie et sa protection mobile. Pour cela, un taux de libre passage de l'air, noté $Taux_{passage\_air\_PM}$, est associé à chaque protection mobile mise en place.

Ainsi, à partir de ce paramètre et du ratio horaire de fermeture des protections mobiles *Rprot(h)*, le moteur de calcul Th-BCE peut évaluer la surface équivalente d'ouverture de l'ensemble baie + protection mobile puis calculer le débit de (sur)ventilation par les ouvrants.

Les étapes du calcul sont les suivantes :

1. Etablissement d'une typologie des protections mobiles selon leur propension à laisser passer l'air lorsqu'elles sont en position fermées ;

2. A partir de cette typologie, attribution à chacune des protections mobiles d'un taux de passage à l'air ;

3. Calcul de la surface d'ouverture maximale de la baie avec la protection mobile mise en place ($A_{ouvmax\_ac\_PM}^{b}(h)$).

5.12.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 47 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de perméabilité des protections mobiles.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$R_{prot,b}(h)$	Ratio de fermeture de la protection mobile de la baie vitrée *b*	-
$A_{ouvmax,b}$	Surface d'ouverture maximale de la baie *b*	m^2

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Baies	*Typo_PM*	Typologie des Protections Mobiles pour le calcul d'un taux de passage à l'air	-	0	4	-
	Type_PM_GPM	Type de la première protection mobile et type de gestion	-	0	8	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv

Sorties

Nom	Description	Unité
$A_{ouvmax\_ac\_PM,b}(h)$	Surface d'ouverture maximale de la baie *b* avec protection mobile mise en place	m^2

Variables internes

Nom	Description	Unité		
$Taux_{passage\_air\_PM}$	Taux de passage de l'air à travers la protection mobile mise en place	%	0	100

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv

Tableau 39 : Nomenclature du modèle

5.12.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Par hypothèse, seule la première protection mobile (PM1) est concernée par ces algorithmes.

5.12.3.1 *Typologie des protections mobiles selon leur taux de passage d'air*

Ce paragraphe a pour objectif d'établir une typologie des Protections Mobiles (PM) selon leur propension à laisser passer l'air lorsqu'elles sont en position fermées. Pour chaque catégorie, un taux de passage à l'air (exprimé en %) est attribué.

Tableau 40 : typologie des Protections Mobiles selon leur taux de passage d'air

Typologie des PM (*Typo_PM*)	***Exemples***	***Taux*$_{passage\_air\_PM}$ (%)**
0 - Valeur par défaut	- Volets isolants	0 %
1 – Tablier non ou faiblement ajourée (surface ajourée < 10% de la surface du tablier)	- Volets roulants sans projection - Volets battants sans projection - Persiennes et jalousies sans projection - Volets coulissants - Stores extérieurs enroulables opaques guidés - Stores intérieurs enroulables opaques	10 %
2- Tablier ajouré (surface ajourée entre 10% et 30% de la surface du tablier)	- Volets roulants à agrafes - Volets roulants à micro-lames ajourées	25%
3- Tablier fortement ajouré (surface ajourée entre 30% et 50% de la surface du tablier)	- Volets battants persiennés à lames fixes ou orientables sans projection - Volets coulissants déportés du mur - Moustiquaires	50%
4- Tablier très fortement ajouré (surface ajourée supérieure à 50% de la surface du tablier) ; protection mobile à projection	- Stores vénitiens extérieurs (BSO) - Stores vénitiens intérieurs - Volets roulants à lames orientables - Volets roulants à projection - Persiennes et jalousies à projection - Volets battants persiennés à lames fixes ou orientables avec projection	75%
5- Pas de protection mobile (*Type_PM_GPM*=0)		100%

On entend ici par tablier la partie de la protection solaire qui est mobile.

Cette typologie des protections mobiles est codée dans un préprocesseur au moteur de calcul.

5.12.3.2 *Calcul de la surface totale équivalente de libre passage à l'air*

Par ailleurs, un ratio de fermeture des protections mobiles *Rprot(h)*, dépendant de l'éclairement, des périodes de jour, de l'occupation etc., est calculé à chaque pas de temps dans la fiche Gestion des Protections Mobiles.

Sur la partie de la baie entièrement couverte par la protection mobile (fraction *Rprot(h)* de la surface A^b), seul le pourcentage $Taux_{passage\_air\_PM}$ d'air peut traverser l'ouvrant. Sur la partie restante (fraction 1-*Rprot(h)*), nous supposerons que l'air peut traverser librement la baie et sa première protection mobile.

Ainsi, la surface équivalente de la baie permettant un libre passage de l'air s'exprime de la

manière suivante :

$$A^{b}_{ouvmax\_ac\_PM}(h) = A^{b}_{ouvmax} * \left(R_{prot,b}(h) * Taux^{b}_{passage\_air\_PM} + \left(1 - R_{prot,b}(h)\right)\right) \quad (239)$$

Par construction, $A_{ouvmax\_ac\_PM}{}^{b}(h) \leq A_{ouvmax}{}^{b}$.

Le nouveau schéma de principe de l'assemblage baies est le suivant :

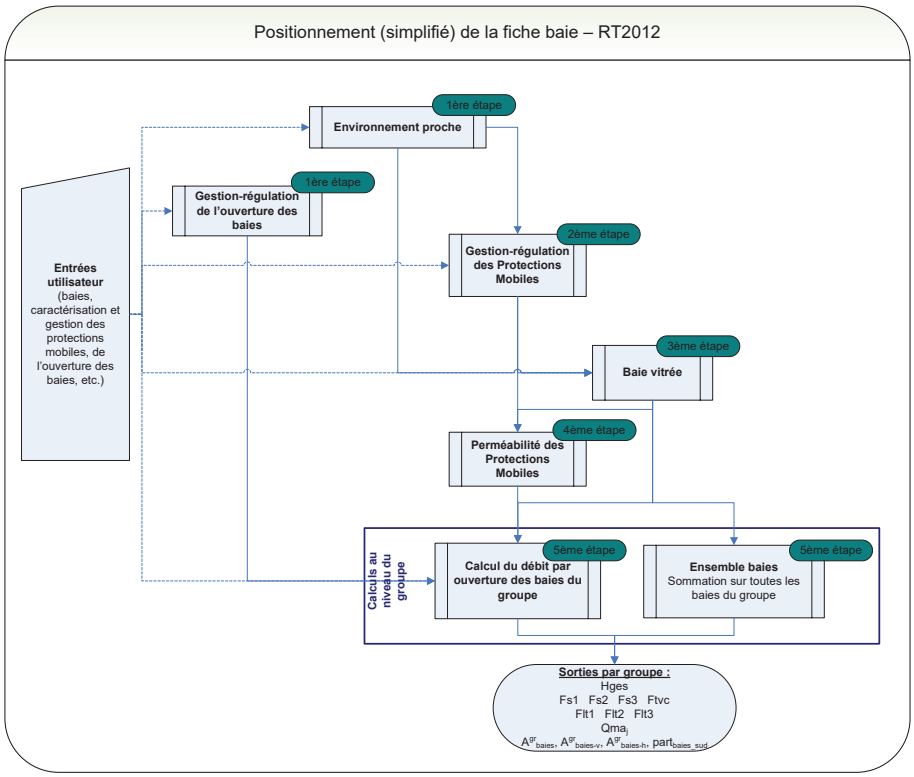


Figure 60 : disposition des composants de l'assemblage baies

5.13 C_BAT_Surventilation naturelle par ouverture des baies pour le confort thermique

5.13.1 INTRODUCTION

La surventilation par ouverture des baies est un moyen de rafraîchir de manière passive un bâtiment, lorsque les paramètres de températures le permettent.

L'impact de cette ouverture sur la température intérieure d'un groupe donné est basé sur un calcul en deux étapes :

- Une première étape vise à déterminer un ratio d'ouverture des baies en prenant en compte le comportement de l'occupant (gestion manuelle de l'ouverture) et l'éventuelle régulation automatique pour certains ouvrants. Cette gestion ne prend en compte que l'ouverture à des fins de limitation de l'inconfort thermique chaud ; elle fait l'impasse sur l'ouverture à des fins de renouvellement d'air hygiénique.

  Cette première étape est réalisée pour chaque baie du groupe indépendamment,

- Une seconde étape calcul le débit d'air global entrant dans le groupe par les ouvrants à partir des conditions extérieures et intérieures et des ratios d'ouverture de la première étape.

  Cette seconde étape est réalisée globalement, à l'échelle du groupe.

Seules les baies vitrées donnant sur l'extérieur – hors portes d'accès ou de communication avec d'autres locaux – peuvent contribuer à la surventilation naturelle.

En termes de cohérence avec le reste du calcul, les hypothèses suivantes sont retenues :

- La ventilation hygiénique du bâtiment est gérée indépendamment de la surventilation naturelle par ouverture des baies. Dans le cas d'un bâtiment où les baies servent également à l'aération, le maximum des débits entrants par les baies est retenu dans la modélisation thermique du groupe.
- L'ouverture des baies est incompatible avec le fonctionnement des systèmes de refroidissement. Dans les bâtiments rafraîchis, on ne fait pas appel à la surventilation naturelle au cours de la saison de refroidissement,
- L'ouverture des baies n'a aucun impact sur le calcul du facteur de transmission thermique global par les baies (Hg_{es}), ni sur le calcul des flux de chaleur transmis par les baies au groupe sous forme de rayonnement (Fs_1, Fs_2) ou au travers d'une lame d'air intérieure ventilée (Fs_3).
- Une exception existe sur le mode de calcul Th-B pour calculer le besoin de froid en permettant une surventilation naturelle par ouverture des baies lorsque c'est opportun.
- Les débits par ouverture des baies n'interviennent pas dans les calculs de pressions d'équilibre du groupe.

5.13.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 41** donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul.
Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, et *j* le jour de simulation correspondant.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. extérieur	$h_{lég}(h)$	Heure légale au pas de temps h.	h
	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur, au temps h.	°C
	$V_{vent\_c}(h)$	Vitesse du vent au pas de temps h.	h
Zone	$i_{hebergement}$	Indicateur d'usage résidentiel ou hébergement. *0 : usage non-résidentiel et non-hébergement.* *1 : usage résidentiel ou hébergement.*	Bool
	$P_{fr\_s}(h)$	Indicateur de consigne de refroidissement (confort, réduit de moins de 48h, réduit de plus de 48 heures) par jour/heure	Entier
	$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur d'occupation au temps h : vrai : zone en occupation faux : zone en inoccupation	Entier
	$i_{occ\_zone}(h\text{-}1)$	Indicateur d'occupation au temps h-1.	Entier
	θ_{iifr_+}	Température de consigne de refroidissement en occupation normale (confort)	°C
	Saison	Indicateur de saison du groupe *(chauffage sans refroidissement, mi-saison, chauffage avec refroidissement, refroidissement seul)*	Entier
Groupe	$\theta_{i,fin}(h\text{-}1)$	Température intérieure de l'air du groupe considéré, au pas de temps h-1.	°C
	$\theta_{op,fin}(h\text{-}1)$	Température intérieure opérative du groupe considéré à la fin du pas de temps h-1.	°C
	$\theta_{op,fin}(h\text{-}2)$	Température intérieure opérative du groupe considéré à la fin du pas de temps h-2.	°C
	$\Delta\theta_{conf\_adapt}(h)$	Ecart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne de refroidissement en occupation du groupe gr (lié à la notion de confort adaptatif)	°C
	$q_{m,aeration}^{gr,s}(h)$	Débit massique d'aération par ouverture de fenêtre du groupe, défini pour garantir la cohérence avec le calcul de la température des groupes.	kg/s

Sorties du composant

	Nom	Description	Unité
	$Q_{v\_surv}^{gr}(h)$	Débit volumique de surventilation par ouverture des baies pour le groupe gr, au pas de temps h	m^3/h
	$Qma_j(h)$	Débit massique d'air entrant dans le groupe par les baies, à la température $\theta_{ext}(h)$.	kg/s

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Baie	*α*	Orientation de la baie d'indice b, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord).				
	Est_Ouvrable	Indicateur précisant si la baie peut être ouverte ou non : *0 : Non-ouvrable* *1 : Ouvrable*	Entier	0	1	
	Has_Gestion_Auto_Ouverture	Indicateur précisant si la baie est équipée d'une gestion automatique de l'ouverture : *0 : Pas de régulation automatique* *1 : Régulation automatique avec possibilité de dérogation* *2 : Régulation automatique sans possibilité de dérogation*	Entier	0	1	

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	
Baie	*expo_BR*	Niveau d'exposition au bruit de la baie : *1 : BR1* *2 : BR2* *3 : BR3*	Entier	1	3	
Groupe	*Is_grandvolume*	Précise si le groupe est constitué majoritairement de locaux de grands volumes (pour la définition du Httf) : 0 : Non 1 : Oui	-	0	1	
	Httf	Hauteur pour le tirage thermique, définie à l'échelle du groupe. Correspond à la différence d'altitude entre le point le plus bas de l'ouverture la plus basse et le plus le plus haut de l'ouverture la plus haute.	m	0	15	
	δ_{trav_surv}	Booléen traduisant le caractère traversant du groupe, au sens de la surventilation par ouverture des baies : *1= traversant* *0 = non-traversant*	Bool	0	1	-

Variables internes

	Nom	Description	Unité

$Rouv^b(h)$	Ratio surfacique d'ouverture de la baie au pas de temps h. La valeur 1 correspond à l'ouverture maximale qu'admet la baie. Cette donnée d'entrée est la donnée de sortie de la fiche au pas de temps précédent.	Réel			
$Rouv\_\theta op\_man(h)$ $Rouv\_\theta op\_auto(h)$	Ratio d'ouverture de la baie en fonction de la température opérative repris du pas de temps h-1 en gestion manuelle ou automatique.	Réel			
$Mod\_ext\_man(h)$ $Mod\_ext\_auto(h)$	Ratio de modération de l'ouverture en fonction des températures extérieures et intérieures, en gestion manuelle ou automatique.	Réel			
$Cpr(h)$	Coefficient de prise en compte de la plage horaire et l'exposition au bruit.	Réel	0	1	-
$P_{auto\_nonderog}(h)$	Part de la baie en gestion automatique non-dérogée.	Réel	0	1	-
$\theta_{ouv1}(h)$ $\theta_{ouv2}(h)$ $\theta_{fer1}(h)$ $\theta_{fer2}(h)$	Températures de consigne de la gestion en fonction de la température opérative	°C	0	+□	-
$Rouv\_corrige^b(h)$	Ratio surfacique d'ouverture de la baie d'indice b, au temps h en prenant en compte la limitation de la PM. La valeur 1 correspond à l'ouverture maximale qu'admet la baie.	Réel			
$Aouv^{gr}(h)$	Surface d'ouverture équivalente de l'ensemble des baies pour le groupe, au pas de temps h.	m^2			
$Aouv^b(h)$	Surface d'ouverture équivalente de la baie d'indice b, au pas de temps h.	m^2			
$Aouv_n(h)$	Surface d'ouverture équivalente des baies pour l'orientation globale n.	m^2			
S_{ors}	Racine carrée de la somme des produits 2 à 2 des surfaces d'ouverture pour les quatre orientations globales retenues.	m			
$\theta_{ext}(h)$	Masse volumique de l'air extérieur entrant dans le groupe.	kg/m^3			
α_{ref}	Angle d'orientation de référence de l'algorithme.	°			
α_{haut}	Angle d'orientation supérieur de l'algorithme.	°			
α_{bas}	Angle d'orientation inférieur de l'algorithme.	°			

	$S_{ors,k}$	Valeur de S_{ors} pour la configuration d'orientation d'indice k, dans le cas traversant.	m²			

Constantes

	Nom	Description	**Unité**			
Hypothèses d'occupation et de comportement	P_{occ}	Conventionnel : part des baies en groupe occupé pour lesquelles un occupant peut agir manuellement Voir « C_BAT_Gestion_protections_mobiles »	-	0	1	
	P_{derog_ouv}	Part de la baie en gestion automatique dans des locaux occupés faisant l'objet d'une dérogation manuelle	-	0	1	0,5
	$\Delta\theta_{ext\_int}$	Différence limite de températures entre l'extérieur et l'intérieur pour la surventilation naturelle *En gestion manuelle : -3°C* *En gestion automatique : 2°C*	°C	0	+□	
	$\theta_{ei\_seuil\_bas}$ $\theta_{ei\_seuil\_haut}$	Températures extérieures seuils pour la modération de l'ouverture des baies.	°C	0	+□	*10* *18*
Constantes physiques	ρ_{ref}	Masse volumique de référence	kg/m^3			1.2
	θ_{ref}	Température de référence	°C			19
	Cw	Constante de prise en compte de la vitesse du vent.	-			0.001
	Cst	Constante de prise en compte des effets de tirage thermique.	m/(°C.s²)			0.0035
	dCp	Différence en valeur absolue des coefficients de pression entre les façades au vent et sous le vent (conventionnelle).	-	0	10	0,75
	C_{d_go}	Coefficient de décharge pour la prise en compte des débits traversants par les grandes ouvertures.	-	0	1	0,6
	$V_{ventmax}$	Vitesse de vent maximale prise en compte dans le calcul des débits traversants	m/s			3

Tableau 41 : Nomenclature du modèle

5.13.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.13.3.1 ***Gestion de l'ouverture d'une baie***

A chaque pas de temps h, la première étape du calcul consiste à calculer un ratio d'ouverture propre à chaque baie du groupe.

Ce calcul n'est réalisé que si la baie est renseignée comme ouvrable (Est_Ouvrable = 1 : Oui).

Chaque baie ouvrable est pilotée selon un mode de gestion :

- Soit **manuel** (Has_Gestion_Auto_Ouverture = 0) : ce sont les occupants qui, manuellement, font varier l'ouverture des baies à des fins de surventilation des locaux, en fonction de leur ressenti. Le taux d'ouverture dépend de la température intérieure opérative, des conditions climatiques extérieures et de l'exposition au bruit de la baie considérée.

- soit **automatique** (Has_Gestion_Auto_Ouverture = 1) : le ratio d'ouverture des baies est commandé par un système de régulation visant à améliorer le confort des occupants et obéissant à des consignes de températures intérieures et extérieures. Dès lors qu'une gestion automatique est en place, on prévoit qu'une partie des baies fait l'objet d'une dérogation manuelle par les occupants. Cela ne concerne que les ouvrants accessibles dans des locaux occupés.

Le mode de gestion automatique autorise la surventilation en période d'inoccupation, et donc la surventilation nocturne régulée. En gestion manuelle, par contre, on considère que l'occupant ferme l'ensemble des ouvrants en période d'inoccupation.

5.13.3.1.1 Algorithme pour la gestion manuelle

Le ratio d'ouverture global Rouv(h) est le produit de plusieurs composantes :

$$Rouv(h) = \mathrm{i_{occ}}(h).\mathrm{P_{occ}}.Cpr(h).Mod\_ext\_man(h).Rouv\_\theta op\_man(h) \qquad (240)$$

Avec :

- $i_{occ}(h)$ est l'indice d'occupation des locaux du groupe au pas de temps h (0 : inoccupation, 1 : occupation),

- P_{occ} : part des baies en groupe occupé pour lesquelles un occupant peut agir manuellement,

- Cpr(h) est le coefficient de modération pour la prise en compte des contraintes à l'ouverture (bruit, effraction, etc…),

- Mod_ext_man(h) est le coefficient de modération en gestion manuelle pour la prise en compte des conditions climatiques extérieures,

- Rouv_θop_man(h) est le ratio d'ouverture en gestion manuelle ne prenant en compte que la dépendance à la température opérative intérieure.

Modération en fonction des conditions climatiques extérieures : Mod_ext_man(h)

On considère par hypothèse que l'occupant n'aura pas recours à l'ouverture des baies pour surventiler dès lors que la température extérieure est trop basse (sensation de froid) ou au contraire trop haute par rapport à la température intérieure. Cela passe par l'introduction du coefficient de modération Mod_ext_man(h), déterminée selon la logique représentée ci-dessous :

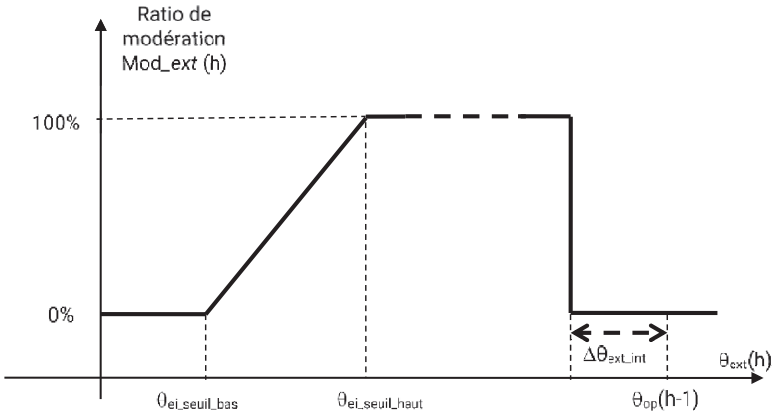


Figure 61: ratio de modération de l'ouverture en fonction de la température extérieure

En gestion manuelle, les valeurs de $\theta_{ei\_seuil\_bas}$, $\theta_{ei\_seuil\_haut}$ et $\Delta\theta_{ext\_int}$ sont fixées conventionnellement comme suit :

$\theta_{ei\_seuil\_bas}$ = 10°C
$\theta_{ei\_seuil\_haut}$ = 18°C
$\Delta\theta_{ext\_int}$ = - 3°C (241)

Un $\Delta\theta_{ext\_int}$ négatif est conventionnellement retenu en gestion manuelle, en considérant que les occupants prolongent l'ouverture même lorsque la température extérieure devient supérieure à la température intérieure, et ce afin de maintenir une circulation d'air dans le bâtiment.

Coefficient de modération pour la prise en compte des contraintes à l'ouverture (bruit, effraction, etc…) : Cpr(h)

La valeur de Cpr(h) est calculée à chaque pas de temps, à partir du tableau suivant :

Classe d'exposition au bruit (expoBR)	**Hors saison de chauffage** *Saison ≠ chauffage sans refroidissement*		**En saison de chauffage** *Saison = chauffage sans refroidissement*	
	Journée : $h_{lég}$ de 7h à 21h	**Nuit** : $h_{lég}$ de 22h à 6h	**Journée** : $h_{lég}$ de 7h à 21h	**Nuit** : $h_{lég}$ de 22h à 6h
BR1	1	1	0,3	
BR2 et BR3	0,7	0,3		

Tableau 42: Valeurs de Cpr(h) en période d'occupation

En inoccupation :
Si $i_{occ\_zone}(h) = 0$ (inoccupation),
Cpr(h) = 0

Dépendance à la température intérieure opérative : Rouv_θop_man(h)

En occupation (i_occ(h) = 1) et en période journée (hleg(h) > 7h et hleg(h) <23h), on fait l'hypothèse que les occupants gèrent l'ouverture des baies selon le profil à hystérésis suivant :

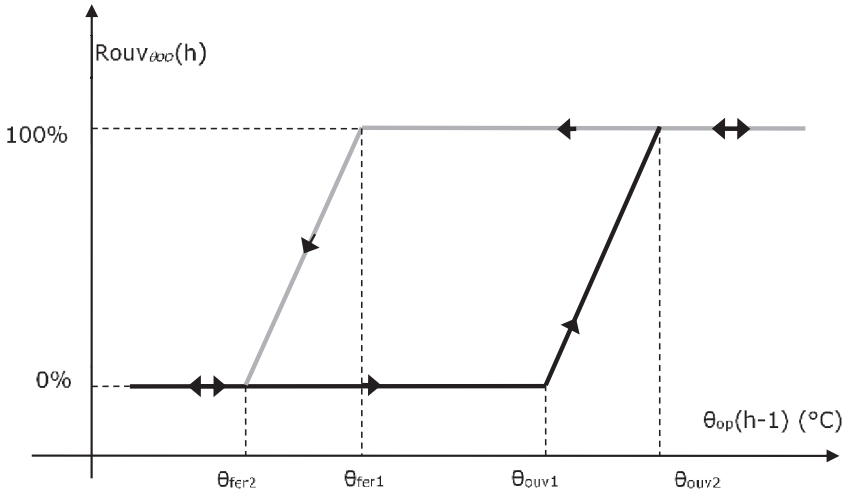


Figure 62 : Ratio d'ouverture Rouv_θop(h) en fonction de la température opérative intérieure au pas de temps précédent

Les valeurs de seuils de confort sont fixées à chaque pas de temps selon les relations suivantes :
Hors saison de chauffage (*Saison ≠ chauffage sans refroidissement) :*

$$\begin{aligned}\theta_{ouv2}(h) &= \theta_{iifr\_+} + \Delta\theta_{conf\_adapt}(h) - 1°C\\ \theta_{ouv1}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 2°C\\ \theta_{fer1}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 2°C\\ \theta_{fer2}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 3°C\end{aligned} \quad (242)$$

(*Saison = chauffage sans refroidissement) :*

$$\begin{aligned}\theta_{ouv2}(h) &= \theta_{iifr\_+} + \Delta\theta_{conf\_adapt}(h) + 1°C\\ \theta_{ouv1}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 2°C\\ \theta_{fer1}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 2°C\\ \theta_{fer2}(h) &= \theta_{ouv2}(h) - 3°C\end{aligned} \quad (243)$$

Avec :

- θ_{iifr_+} la température de consigne de refroidissement en mode confort (en occupation),
- $\Delta\theta_{conf\_adapt}(h)$ l'écart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne de refroidissement en occupation

5.13.3.1.2 Cas du mode Th-B : gestion manuelle et conditions

Lorsque le mode de calcul est Th-B, un calcul spécifique est mené sur l'ouverture des baies, pour bénéficier partiellement de la surventilation par ouverture des baies sans interférer avec le calcul de besoin de refroidissement.

L'ouverture des baies ouvrables est défini en **gestion manuelle** avec quelques différences de calcul**.** On reprend l'algorithme pour gestion manuelle en modifiant le ratio de modération de l'ouverture en fonction de la température extérieure **Mod_ext_man(h)** et le ratio d'ouverture en fonction de la température opérative au pas de temps précédent **Rouv_θop_man(h)**

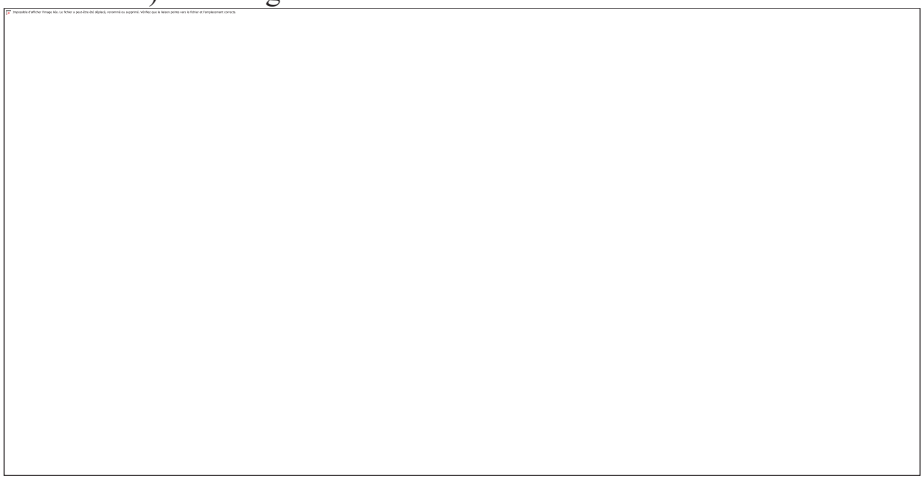
- Calcul de **Mod_ext_man(h)** en mode Th-B :

Hors période d'autorisation de refroidissement ($Aut_{fr,pro}(j)=0$) :

$$Mod\_ext\_man(h) = 0 \quad (244)$$

En période d'autorisation de refroidissement ($Aut_{fr,pro}(j)=1$)

La valeur du « coefficient de modération en gestion manuelle pour la prise en compte des conditions climatiques extérieures » (dans la partie méthode sur la surventilation naturelle par ouverture des baies) est changée :



Par rapport au schéma ci-dessus pour la gestion manuelle, en Th-B en période de refroidissement :

- $\theta_{op}(h-1) - \Delta\theta_{ext\_int}$ est remplacé par $MIN(\theta_{iifr}-1 ; \theta_{op}(h-1) - \Delta\theta_{ext\_int})$
- $\theta_{ei\_seuil\_haut}$ est remplacé par $MIN(\theta_{iifr}-1 ; \theta_{ei\_seuil\_haut})$

Où θ_{iifr} est la température de consigne froid. De sorte que si la température extérieure s'approche de la température de consigne de refroidissement (dépasse la température de consigne de froid moins 1°C), les baies ne sont pas ouvertes.

- Calcul de Rouv_θop_man(h) en mode Th-B :

En mode Th-B, on ajoute simplement une condition pour que Rouv_θop_man(h) soit nul en cas d'inoccupation (i_occ(h) = 0).

Si i_occ(h) = 0 :

$$Rouv\_\theta op\_man(h) = 0 \quad (245)$$

Sinon le calcul s'effectue comme en gestion manuelle, pour l'algorithme défini au paragraphe précédent.

5.13.3.1.3 Algorithme pour la gestion automatique

La gestion automatique peut être dérogée par les utilisateurs, lorsqu'ils sont présents dans le bâtiment. Dans ce cas, le modèle alors utilisé pour cette dérogation est celui d'une gestion manuelle. Pour la part non dérogée de la baie, la gestion automatique s'applique.

Dans ce cas, l'algorithme est considéré identique à celui de la gestion manuelle, à la différence près que $\theta_{ouv2}(h)$ n'intègre pas la variation en fonction $\Delta\theta_{conf\_adapt}(h)$ et que les valeurs de consignes de gestion sont à définir. Deux modes de définition sont distingués:

- soit on utilise des valeurs par défaut, dans ce cas les mêmes valeurs qu'en gestion manuelles sont utilisées sauf la valeur du paramètre $\Delta\theta_{ext\_int}$ intervenant dans le calcul de Mod_ext(h) qui est fixée à 2°C,

- soit l'utilisateur fournit ses propres valeurs de consigne de gestion via des tableaux de paramètres distingués selon le type de saison

Dans ces deux cas, les paramètres Mod_ext_auto(h) et Rouv_θop_auto (h) sont alors définis.

Le ratio d'ouverture global Rouv(h) intègre alors la part dérogée et non dérogée de la gestion automatique :

$$Rouv(h) = \left(1 - P_{auto_{nonderog}}\right).\mathrm{i_{occ}}(h).\mathrm{P_{occ}}.Cpr(h).Mod_{ext_{man(h)}}.Rouv_{\theta\mathrm{op_{man}}(h)} + \left(P_{auto_{nonderog}}\right).Mod_{ext_{auto}}(h).Rouv_{\theta\mathrm{op_{auto}}}(h) \quad (246)$$

Avec $P_{auto\_nonderog}$, la part non dérogée des baies soumises à la gestion automatique. Ce ratio prend en compte la part de locaux fréquentés par les occupants en période d'occupation (Pocc), ainsi que le taux d'occupants Pderog_ouv appliquant effectivement une dérogation de l'ouverture automatique (selon des facteurs d'accessibilité ou de comportement). Ce dernier paramètre est fixé conventionnellement à 0.5.

En période d'inoccupation, on considère que l'ensemble des baies sont hors dérogation. En période d'occupation, $P_{auto\_nonderog}(h)$ est fonction du taux d'occupation effectif des locaux et de la part de baies dont la dérogation est possible.

Au final :

Si $i_{occ\_zone}(h) = 1$ (en occupation),

$$P_{auto\_nonderog}(h) = (1-P_{occ}) + P_{occ}.(1 - P_{derog\_ouv}) \quad (247)$$

Sinon,

$$P_{auto\_nonderog}(h) = 1$$

5.13.3.2 *Calcul du débit de surventilation naturelle par ouverture des baies*

A l'issue de la prise en compte de la gestion-régulation de l'ouverture de chacune des baies d'un groupe, le calcul du débit de surventilation global du groupe est réalisé selon les modalités ci-dessous.

5.13.3.2.1 Généralités

Le débit volumique d'air dû à l'ouverture des baies est fonction :

- De la vitesse du vent (valeur prise à 10 m de hauteur),
- Du caractère traversant ou non-du groupe au sens de la surventilation par ouverture des baies,
- D'une hauteur de référence prise pour tenir compte des phénomènes de tirage thermique,
- De la différence entre la température de l'air extérieure et intérieure (prise avec un exposant de 0.5),
- De différentes constantes aérodynamiques, associées au vent et au phénomène de tirage thermique.

5.13.3.2.2 Caractère traversant d'un groupe au sens de la surventilation par ouverture des baies

Le caractère traversant d'un groupe au sens de la surventilation par ouverture des baies n'est pas identique au caractère traversant au sens des circulations d'air horizontales entre locaux. En effet, dans le premier cas, le caractère traversant est lié à la possibilités d'ouvrir les portes intérieures entre deux façades d'orientations différentes. Dans le deuxième cas, un détalonnement des portes intérieures est suffisant.

Le caractère traversant du groupe au sens de la surventilation par ouverture des baies est conventionnel (voir Tableau 43).

La seule exception est le cas d'un groupe associé à l'usage d'habitation – logement collectif. Pour de dernier, δ_{trav_surv} est pris égal à 1 (traversant), ou 0 (non-traversant) selon le caractère (traversant ou non-traversant) du groupe.

N° d'usage	Type d'usage associé	δ_{trav_surv}
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	1
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	Non-conventionnel
4	Enseignement primaire	0
5	Enseignement secondaire (partie jour)	0
16	Bureaux	0

Tableau 43: relation entre le type d'usage et le caractère traversant du groupe au sens de la surventilation par ouverture des baies

5.13.3.2.3 Valeur de Httf

Httf correspond à la différence d'altitude entre le point le plus bas de l'ouverture la plus basse et le plus le plus haut de l'ouverture la plus haute pris en compte pour modéliser les effets de tirage

thermique sur les débits d'air par ouverture des fenêtres.

Dans le cas général, Httf est pris égal à 1,5m.

Deux cas de figure font exception, les groupes en usage d'habitation - maison individuelle et les groupes constitués de locaux de grandes hauteurs, dont la différence d'altitude entre la partie inférieure de l'ouvrant le plus bas et la partie supérieure de l'ouvrant le plus haut est supérieure à 4 m. Dans ces deux cas, l'utilisateur saisit la différence d'altitude entre la partie inférieure de l'ouvrant le plus bas et la partie supérieure de l'ouvrant le plus haut du groupe, dans la limite de 15m maximum.

5.13.3.2.4 Ratios d'ouverture maximaux en fonction du type de baies

Le ratio d'ouverture maximale $R_{ouvmax}{}^{b}$ est une propriété dépendant du type de fenêtre et de son angle maximal d'ouverture. Il correspond au rapport de la surface maximale d'ouverture sur la surface en tableau (surface A^{b} caractérisant la baie). Les valeurs par défaut suivante peuvent être utilisée. Dans le cas où une partie de la baie est fixe, il convient d'en prendre compte dans la définition du R_{ouvmax} global de la baie.

Type d'ouvrant	Ratio d'ouverture $R_{ouvmax}{}^{b}$
Française et Anglaise Angle d'ouverture de 90°	80%
Italienne et soufflet Angle d'ouverture de 15°	40%
Soufflet D'oscillo-battant Angle d'ouverture de 7°	20%
Coulissant	40%

Tableau 44: valeurs par défaut du ratio d'ouverture maximal d'un ouvrant en fonction de son type

5.13.3.2.5 Section d'ouverture de la baie

Dans un premier temps, on évalue les Aouv^{b}(h) et Aouv(h), la surface d'ouverture totale des baies pour le groupe.

On intègre l'impact de la réduction de section d'ouverture associée à la mise en place de la protection mobile au travers d'un ratio d'ouverture corrigé. Par soucis de simplification, la hauteur de tirage thermique intervenant dans le calcul du débit d'air entrant n'est pas corrigée en fonction de la position de la protection.

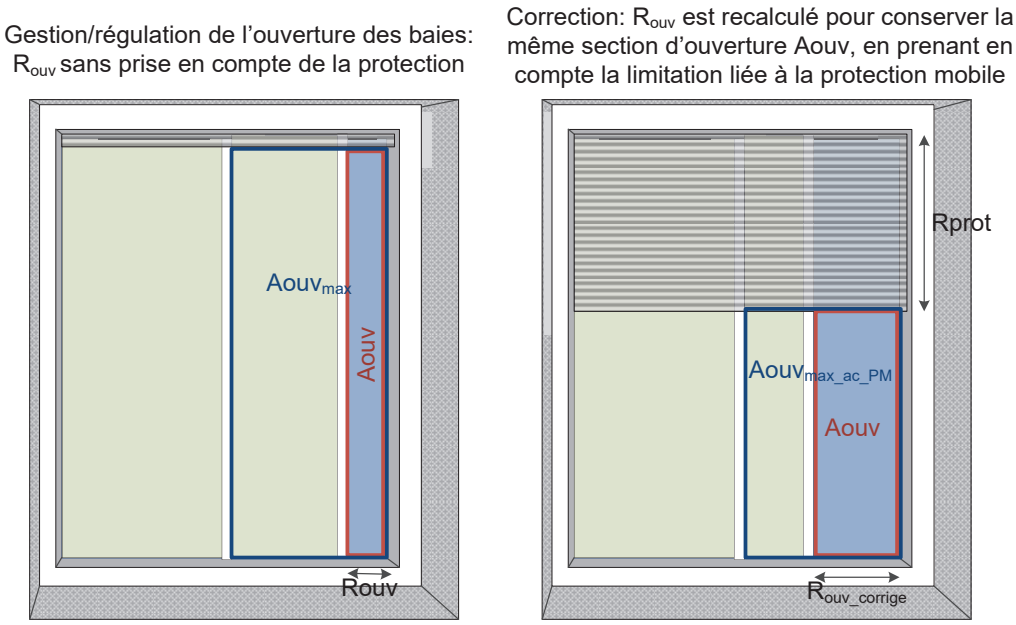


Figure 63: prise en compte de l'interaction entre l'ouverture de la baie et la mise en place d'une protection mobile

$$R^{b}_{ouv\_corrige}(h) = MIN(1 ; \frac{R^{b}_{ouv}(h) \times A^{b}_{ouv\,max}}{A^{b}_{ouv\,max\_ac\_PM}(h)}) \quad (248)$$

Note : si $A_{ouvmax\_ac\_PM}{}^{b}(h)$ est nul, on retient : $R_{ouv\_corrige}{}^{b}(h) = R_{ouv}{}^{b}(h)$

Pour chaque baie d'indice b:

$$Aouv^{b}(h) = R^{b}_{ouv\_corrige}(h) \times A^{b}_{ouv\,max\_ac\_PM}(h) \quad (249)$$

La sommation est ensuite:

$$Aouv(h) = \sum_{b} Aouv^{b}(h) \quad (250)$$

5.13.3.2.6 Calcul du débit de surventilation en fonction de la section Aouv

Les modalités de calcul des débits de surventilation $Q_{v\text{-}surv\text{-}ouv}{}^{gr}(h)$ dépendent du caractère traversant ou non du groupe considéré.

En non-traversant (δ_{trav_surv} = faux) :

Dans le cas d'un groupe d'indice « gr » non-traversant, le débit total de surventilation par les ouvertures est calculé selon la relation suivante :

$$Q_{v,surv,ouv}{}^{gr}(h) = 3600.\frac{A_{ouv}(h)}{2}.\left[MAX\left(C_w.V_{ventc}(h)^2; C_{st}.Httf.\left|\theta_{ext}(h) - \theta_{i,fin}(h-1)\right|\right)\right]^{0,5} \quad (251)$$

En traversant (δ_{trav_surv} = vrai) :

Dans le cas d'un groupe d'indice « gr » traversant, le débit de surventilation est calculé selon la procédure suivante.

On introduit les sections d'ouverture $Aouv_n(h)$ calculées en regroupement les baies par orientation α de plus ou moins 45° par rapport aux points cardinaux. Ce regroupement n'est effectué que pour les baies d'inclinaison β supérieure ou égale à 60°. En effet, l'ensemble des baies en toiture (β < 60°) sont considérées conventionnellement comme sous le vent.

La surface équivalente du phénomène traversant S_{ors} est désormais calculée à partir de la relation suivante :

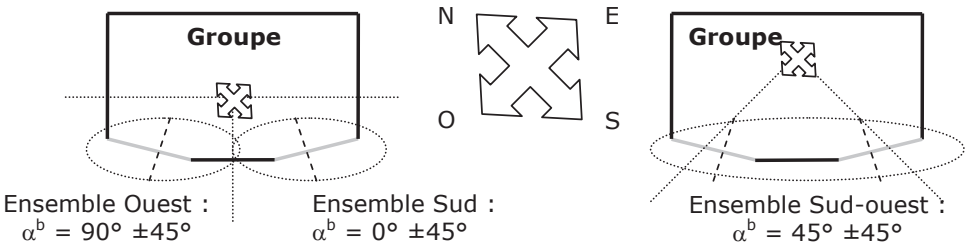
$$S_{ors}(h) = \frac{1}{4} \times \sum_{\substack{n=1 \text{ à } 4 \\ Aouv_n(h)>0 \\ \beta_n \geq 60°}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Aouv_n(h)^2} + \frac{1}{(Aouv(h) - Aouv_n(h))^2}}} \right) \quad (252)$$

Note : $S_{ors}(h)$ n'est calculé que sur la base des $Aouv_n(h)$ non-nuls (par hypothèse, il en existe au moins 2).

Le calcul de S_{ors} est effectué pour deux distributions de points cardinaux décalées de 45° l'une par rapport à l'autre, conventionnellement N-E-S-O et NE-SE-SO-NO. Le cas de figure aboutissant à la valeur de S_{ors} la plus basse est retenue pour la modélisation.

Cette précaution revient en fait à analyser l'impact du caractère traversant du groupe selon deux directions de vent décalées de 45°, et retenir celle qui minimise les débits de surventilation par ouverture des baies.

Voici un exemple de justification de la précaution prise :



Pour la première configuration, deux ensembles sont différenciés, alors que les baies des ensembles Ouest et Sud ont une différence d'orientation de quelques degrés seulement. L'effet de circulation d'air traversante entre ces deux baies n'est pas significatif dans la pratique. La méthode retient donc le cas de droite, constitué d'un seul ensemble, qui correspond à un coefficient correctif de 1. Cet exemple met en avant l'intérêt de réaliser le calcul pour deux distributions

Au final, l'algorithme à utiliser pour le calcul de S_{ors} est le suivant :

S'il y a au moins une baie,
Pour l'indice k allant de 1 à 2,
Pour l'indice n allant de 1 à 4,
$Aouv_n = 0$
$\alpha_{ref} = (k\text{-}1) \times 45° + (n\text{-}1) \times 90°$
$\alpha_{haut} = \alpha_{ref} + 45°$
$\alpha_{bas} = \alpha_{ref} - 45°$
Pour chaque baie d'indice b :
Si $(\alpha^b \geq \alpha_{bas}$ *et* $\alpha^b < \alpha_{haut})$ *et* $\beta^b < 60°$, *alors,*
$Aouv_n = Aouv_n + Aouv^b$ (253)
Fin de la boucle sur les baies du groupe.
Fin de la boucle « Pour n de 1 à 4 ».

$$S_{ors,k} = \frac{1}{4} \times \sum_{\substack{n=1 \text{ à } 4 \\ Aouv_n(h)>0}} \left(\frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Aouv_n(h)^2} + \frac{1}{(Aouv(h) - Aouv_n(h))^2}}} \right)$$

Fin de la boucle « Pour k de 1 à 2 ».
$S_{ors}(h) = MIN(S_{ors,k=1} ; S_{ors,k=2})$

Le débit volumique $Q_{v\_surv\_ouv}{}^{gr}(h)$ est calculé de la manière suivante :

$$Q_{v,surv,ouv}{}^{gr}(h) = 3600.MAX\left(C_{dgo}.S_{ors}(h).MIN(V_{ventc}(h); V_{ventmax}).dCp^{0,5}; \frac{A_{ouv}(h)}{2}.\left(C_{st}.Httf.\left|\theta_{ext}(h) - \theta_{i,fin}(h-1)\right|\right)^{0,5}\right) \quad (254)$$

Où :

- C_{d_go} est le coefficient de décharge associé aux grandes ouvertures, pris conventionnellement égal à 0,6.

- dC_p est la différence de coefficients de pressions entre les façades au vent et sous le vent, pris conventionnellement égale à 0,75. **Note :** cette valeur correspond à groupe dont les baies de hauteur inférieure 15m par rapport au sol, pour un site d'exposition au vent normale,

- $V_{ventmax}$, la vitesse de vent maximale prise en compte dans le calcul des débits traversant, égale à 3 m/s.

5.13.3.3 *Calcul du débit massique d'air entrant*

On exprime tout d'abord la masse volumique de l'air entrant:

$$\rho_{ext}(h) = \frac{\rho_{ref}.(273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{ext}(h))} \quad (255)$$

Dans le cas d'un groupe avec ventilation naturelle par aération, par cohérence, un seul débit entrant d'ouverture des baies est pris en compte dans la modélisation thermique. Ce débit est pris égal au maximum des débits d'aération et du débit de surventilaiton naturelle.

Ainsi:

$$Q_{ma}{}^{j}(h) = MAX\left(\frac{Q_{v-surv-ouv}^{gr}(h)}{3600} \times \rho_{ext}; \sum_{s \in gr} q_{m-aeration}^{gr,s}(h)\right) \quad (256)$$

Il s'agit d'un débit d'air en provenance de l'extérieur.

5.14 C_BAT_ensemble_baies

5.14.1 INTRODUCTION

La fiche algorithme « ensemble baies » a pour objectif de collecter toutes les données relatives à chaque élément baie (comme les flux solaires et lumineux transmis au groupe à travers chaque baie, le ratio d'ouverture maximale de chaque baie, etc.) et de les sommer au niveau du groupe.

5.14.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 45 donne la nomenclature des différentes variables de l'ensemble baies.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Baie	$I_{sr,b}$	Rayonnement solaire global atteignant la baie vitrée b	W/m²
	$Hg_{es,b}(h)$	Facteur de transmission thermique global pour la baie vitrée b entre les environnements intérieurs et extérieurs	W/K
	$Fs_{1,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde	W
	$Fs_{2,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W
	$Fs_{3,b}$	Flux de chaleur transmis par la baie vitrée b au groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
	$Ftvc_{,b}$	Flux transmis dû au rayonnement froid vers la voute céleste	W
	$Flt_{1,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b, sous forme directe, la valeur de n est relative au type de baie 0, 1, 2	lumen
	$Flt_{2,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme diffuse la valeur de n est relative au type de baie 0, 1, 2	lumen
	$Flt_{3,b(n)}$	Flux lumineux transmis au groupe par la baie vitrée b sous forme réfléchie la valeur de n est relative au type de baie 0, 1, 2	lumen
	$\alpha_{,b}$	Orientation de la baie d'indice b, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord).	°
Climat	*IMOIS*	Le numéro du mois	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
b(n)	Indice indiquant qu'il s'agit de la baie vitrée b de type n. N prenant des valeurs de 0 à 2. La distinction des baies par type n'est nécessaire que pour l'éclairement naturel	-	-	-	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Sorties

Nom	Description	Unité
$Hg_{es}(h)$	Facteur de transmission thermique global pour l'ensemble des baies du groupe entre les environnements intérieurs et extérieurs	W/K
Fs_1	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe sous forme de rayonnement de courte	W

	longueur d'onde	
Fs_2	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W
Fs_3	Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies du groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
Ftvc	Flux transmis dû au rayonnement froid vers la voute céleste pour l'ensemble des baies du groupe	W
$Flt_{1(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contributan tà l'éclairement naturel d'un grand volumme non éclairé de façon uniforme.	lumen
$Flt_{1(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	lumen
$Flt_{1(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme directe par l'ensemble des baies de type 2, c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	lumen
$Flt_{2(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contributan tà l'éclairement naturel d'un grand volumme non éclairé de façon uniforme.	lumen
$Flt_{2(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	lumen
$Flt_{2(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme hémisphérique par l'ensemble des baies de type 2, c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	lumen
$Flt_{3(0)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 0, c'est à dire les baies verticales ou horizontales contributan tà l'éclairement naturel d'un grand volumme non éclairé de façon uniforme.	lumen
$Flt_{3(1)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi-hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 1, c'est à dire les baies horizontales uniformément réparties pour un local de grand volume	lumen
$Flt_{3(2)}$	Flux lumineux transmis au groupe sous forme semi-hémisphérique orienté vers le plafond par l'ensemble des baies de type 2, c'est à dire les baies d'un volume « normal », c'est-à-dire tous les volumes excepté les grands volumes.	lumen
$Part_{baies\_sud}$	Pourcentage de baies du groupe orientées au sud (azimut α =0°)	-
$Part_{baies\_nord}$	Pourcentage de baies du groupe orientées au nord (azimut α =180°)	-
$Part_{baies\_ouest}$	Pourcentage de baies du groupe orientées à l'ouest (azimut α =90°)	-
$Part_{baies\_est}$	Pourcentage de baies du groupe orientées à l'est (azimut α =270°)	-
$Part_{baies\_horiz}$	Pourcentage de baies horizontales du groupe (orientation β=0°)	-
A^{gr}_{baies}	Surface totale des baies du groupe	m²

$A^{gr}_{baies-v}$	Surface totale des baies verticales du groupe	m²
$A^{gr}_{baies-h}$	Surface totale des baies horizontales du groupe	m²
$A^{gr}_{baies-sud}$	Surface de baies du groupe orientées Sud	m²
$A^{gr}_{baies-nord}$	Surface de baies du groupe orientées Nord	m²
$A^{gr}_{baies-ouest}$	Surface de baies du groupe orientées Ouest	m²
$A^{gr}_{baies-est}$	Surface de baies du groupe orientées Est	m²

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 45 : Nomenclature du modèle

5.14.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.14.3.1 ***Calcul du coefficient de transfert thermique global de l'ensemble des baies du groupe***

$$Hg_{es} = \sum_{b \in groupe} Hg_{es,b} \quad (257)$$

5.14.3.2 ***Calcul des flux de chaleur totaux transmis au groupe***

1. Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies vitrées du groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde :

$$Fs1 = \sum_{b \in groupe} Fs1, b \quad (258)$$

2. Flux de chaleur transmis par la baie vitrée au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif :

$$Fs2 = \sum_{b \in groupe} Fs2, b \quad (259)$$

3. Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies vitrées du groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure) :

$$Fs3 = \sum_{b \in groupe} Fs3, b \quad (260)$$

4. Flux de chaleur transmis au groupe par l'ensemble des baies vitrées du groupe, dû au rayonnement froid vers la voute céleste :

$$Ftvc = \sum_{b \in groupe} Ftvc, b \quad (261)$$

5.14.3.3 ***Calcul des flux lumineux transmis au groupe***

Nous distinguons les flux lumineux transmis au groupe, selon le type de baie.

5.14.3.3.1 Flux lumineux entrant sous forme directe

1. Flt1(0) : flux lumineux transmis sous forme directe (en provenance du direct hors composantes due au diffusé par la protection) au groupe par l'ensemble des baies de type 0 (baie verticale ou horizontale appartenant à un local de grand volume dont la répartition des baies horizontales n'est pas uniforme et ne permet pas d'avoir un éclairement uniforme du local)

$$Flt1(0) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt1, b(0) \quad (262)$$

2. Flt1(1) : flux lumineux transmis sous forme directe (en provenance du direct hors composantes due au diffusé par la protection) au groupe par l'ensemble des baies de type 1 (baie horizontale qui contribue à l'éclairement uniforme des locaux de grand volume du groupe)

$$Flt1(1) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt1, b(1) \quad (263)$$

3. Flt1(2) : flux lumineux transmis sous forme directe (en provenance du direct hors composantes due au diffusé par la protection) au groupe par l'ensemble des baies de type 2 (baie verticale ou horizontale d'un volume normal)

$$Flt1(2) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt1, b(2) \quad (264)$$

5.14.3.3.2 Flux lumineux entrant sous forme hémisphérique

1. Flt2(0) : Flux lumineux transmis sous forme hémisphérique au groupe par l'ensemble des baies de type 0 (baie verticale ou horizontale appartenant à un local de grand volume dont la répartition des baies horizontales n'est pas uniforme et ne permet pas d'avoir un éclairement uniforme du local)

$$Flt2(0) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt2, b(0) \quad (265)$$

2. Flt2(1) : Flux lumineux transmis sous forme hémisphérique au groupe par l'ensemble des baies de type 1 (baie horizontale qui contribue à l'éclairement uniforme des locaux de grand volume du groupe)

$$Flt2(1) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt2, b(1) \quad (266)$$

3. Flt2(2) : Flux lumineux transmis sous forme hémisphérique au groupe par l'ensemble des baies de type 2 (baie verticale ou horizontale d'un volume normal)

$$Flt2(1) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt2, b(1) \quad (267)$$

5.14.3.3.3 Flux lumineux entrant sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond

1. Flt3(0) : flux lumineux transmis sous forme demi-hémisphérique (en provenance du sol et en direction du plafond, hors composante due au flux diffusé par la protection) au groupe par l'ensemble des baies de type 0 (baie verticale ou horizontale appartenant à un local de grand volume dont la répartition des baies horizontales n'est pas uniforme et ne permet pas d'avoir un éclairement uniforme du local)

$$Flt3(0) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt3, b(0) \quad (268)$$

2. Flt3(1) : flux lumineux transmis sous forme demi-hémisphérique (en provenance du sol et en direction du plafond, hors composante due au flux diffusé par la protection) au groupe

par l'ensemble des baies de type 1 (baie horizontale qui contribue à l'éclairement uniforme des locaux de grand volume du groupe)

$$Flt3(1) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt3,b(1) \quad (269)$$

3. Flt3(2) : flux lumineux transmis sous forme demi-hémisphérique (en provenance du sol et en direction du plafond, hors composante due au flux diffusé par la protection) au groupe par l'ensemble des baies de type 2 (baie verticale ou horizontale d'un volume normal)

$$Flt3(2) = \sum_{\substack{b \in groupe \\ type\_baie\_l=0}} Flt3,b(2) \quad (270)$$

5.14.3.4 *Calculs divers au niveau du groupe*

5.14.3.4.1 Calcul du pourcentage de baies verticales d'un groupe ayant une orientation Sud

On considère qu'une paroi vitrée verticale a une orientation Sud si $-45° \leq \alpha \leq 45°$

$$part_{baies\_sud} = \frac{\sum_{-45° \leq \alpha \leq 45°,\ 60° \leq \beta_b \leq 90°} Ab}{\sum_{\alpha,\ 60° \leq \beta_b \leq 90°} Ab} \quad (271)$$

5.14.3.4.2 Calcul de la surface de baies verticales au Sud

$$A^{gr}_{baies-sud} = Part_{baies-sud} * A^{gr}_{baies} \quad (272)$$

5.14.3.4.3 Calcul du pourcentage de baies verticales d'un groupe ayant une orientation nord

On considère qu'une paroi vitrée verticale a une orientation nord si $135° \leq \alpha \leq 225°$

$$part_{baies\_nord} = \frac{\sum_{135° \leq \alpha \leq 225°,\ 60° \leq \beta_b \leq 90°} Ab}{\sum_{\alpha,\ 60° \leq \beta_b \leq 90°} Ab} \quad (273)$$

5.14.3.4.4 Calcul de la surface de baies verticales au nord

$$A^{gr}_{baies-nord} = Part_{baies-nord} * A^{gr}_{baies} \quad (274)$$

5.14.3.4.5 Calcul du pourcentage de baies verticales d'un groupe ayant une orientation Ouest

On considère qu'une paroi vitrée verticale a une orientation ouest si $45° < \alpha < 135°$

$$part_{baies\_ouest} = \frac{\sum_{45°<\alpha<135°,\ 60° \le \beta_b \le 90°} Ab}{\sum_{\alpha,\ 60° \le \beta_b \le 90°} Ab} \quad (275)$$

5.14.3.4.6 Calcul de la surface de baies verticales à l'ouest

$$A^{gr}_{baies-ouest} = Part_{baies-ouest} * A^{gr}_{baies} \quad (276)$$

5.14.3.4.7 Calcul du pourcentage de baies verticales d'un groupe ayant une orientation Est

On considère qu'une paroi vitrée verticale a une orientation Est si $225° < \alpha < 315°$

$$part_{baies\_est} = \frac{\sum_{225°<\alpha<315°,\ 60° \le \beta_b \le 90°} Ab}{\sum_{\alpha,\ 60° \le \beta_b \le 90°} Ab} \quad (277)$$

5.14.3.4.8 Calcul de la surface de baies verticales à l'est

$$A^{gr}_{baies-est} = Part_{baies-est} * A^{gr}_{baies} \quad (278)$$

5.14.3.4.9 Calcul de la surface totale des parois vitrées verticales du groupe

$$A^{gr}_{baies-v} = \sum_{b \in groupe,\ 60° \le \beta_b \le 90°} Ab \quad (279)$$

5.14.3.4.10 Calcul du pourcentage de baies horizontales d'un groupe

On considère qu'une paroi vitrée est horizontale si $\beta = 0°$

$$part_{baies\_horiz} = \frac{\sum_{\beta=0°} Ab}{\sum Ab} \quad (280)$$

5.14.3.4.11 Calcul de la surface totale des parois vitrées horizontales du groupe

$$A^{gr}_{baies-h} = \sum_{b \in groupe,\ \beta_b < 60°} Ab \quad (281)$$

5.14.3.4.12 Calcul de la surface totale des parois vitrées du groupe

$$A^{gr}_{baies} = A^{gr}_{baies-v} + A^{gr}_{baies-h} \quad (282)$$

5.15 S1_BAT_assemblage_parois opaques

5.15.1 INTRODUCTION

Trois fiches algorithmes liées aux parois opaques sont assemblées

- la fiche C_BAT_paroi opaque (calcul des flux solaire et lumineux transmis au groupe, calcul du rayonnement vers la voûte céleste, calcul du coefficient de transmission thermique global),

- la fiche C_EEX_environnement_proche pour le calcul des flux solaires et lumineux incidents en tenant compte des masques proches et lointains, et le calcul de la densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi,

- la fiche C_BAT_ensemble_parois opaques.

5.15.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 46 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithme liées aux parois opaques.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Météo	I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
	Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
	ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
	γ	Hauteur du soleil	rd
E-T	$b_{therm,k}$	Coefficient de réduction des déperditions par la paroi opaque k due à la présence de l'espace tampon i	-
	$b_{solaire,k}$	Coefficient de réduction des apports solaires par la paroi opaque k due à la présence de l'espace tampon i	-

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Environnement proche : voir fiche environnement proche Parois opaques : voir fiche paroi opaque Ensemble parois opaques : voir fiche ensemble parois opaques				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s\_op}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers l'ensemble des parois opaques	W
$\phi_{sh\_vc\_op}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers l'ensemble des parois opaques	W
H_{Th_op}	Coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des parois opaques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
A^{gr}_{opv}	Surface des parois déperditives opaques verticales du groupe	m²
A^{gr}_{ophh}	Surface des parois déperditives opaques horizontale (toiture) du groupe	m²
A^{gr}_{ophb}	Surface des parois déperditives opaques horizontale du groupe tournée vers le bas	m²
A^{gr}_{op}	Surface totale des parois déperditives opaques du groupe	m²

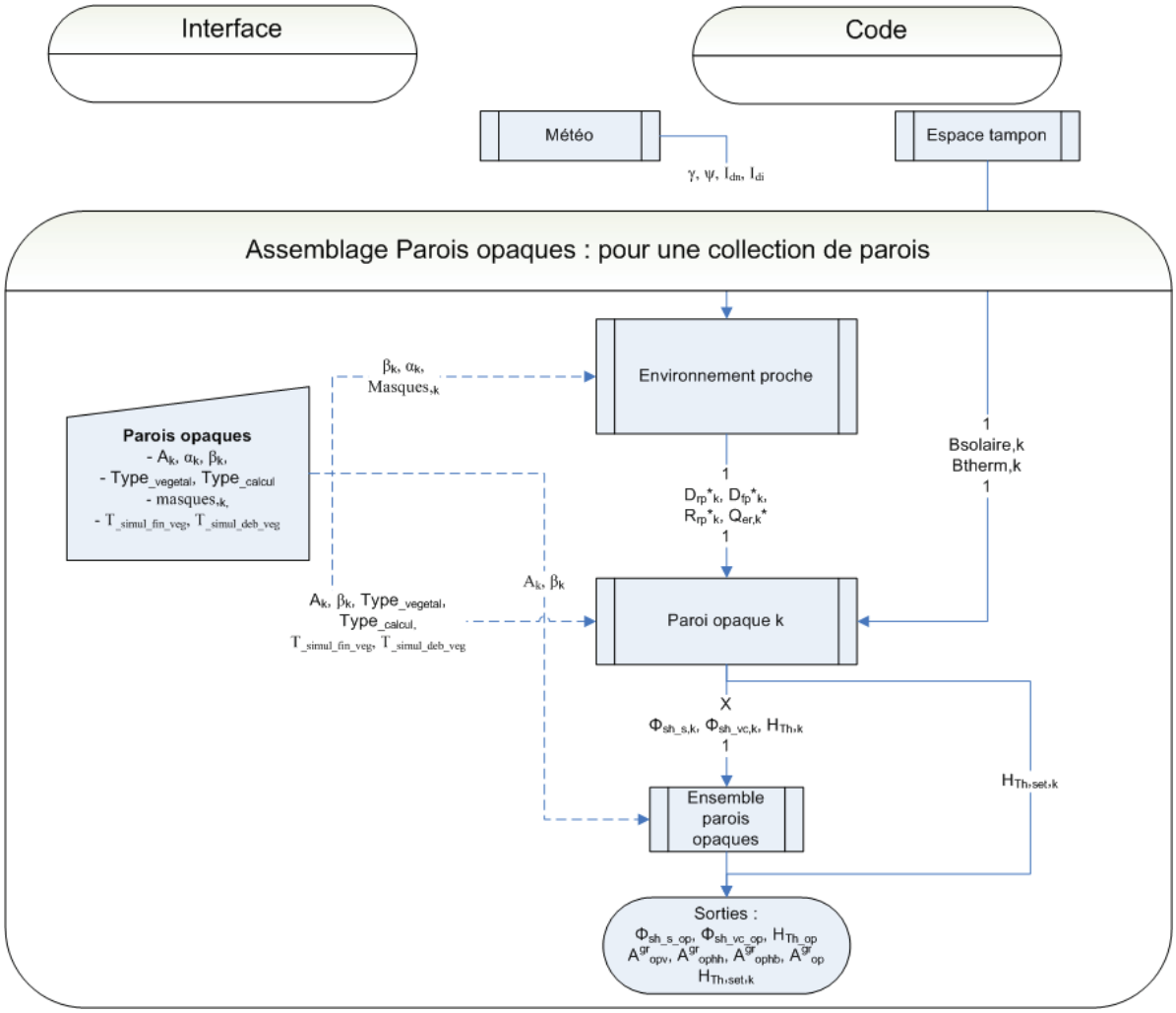
Variables internes

Nom	Description	Unité

Tableau 46 : Nomenclature du modèle

5.15.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Le schéma de la figure ci-dessous présente l'organisation des composants pour l'ensemble des parois opaques d'un groupe.



La fiche C_EEX_environnement_proche calcule les rayonnements solaires atteignant la paroi compte tenu de la présence possible de masques proches et/ou lointains.

Ces rayonnements sont alors utilisés par C_BAT_paroi opaque pour déterminer le flux de chaleur dû au rayonnement solaire ainsi que le flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe par la paroi. Est déterminé également le coefficient de transmission thermique global de la paroi.

La présence d'un espace tampon est prise en compte par des coefficients de réduction des déperditions et des apports solaires.

5.16 C_BAT_ensemble_parois opaques

5.16.1 INTRODUCTION

Cette fiche calcule les propriétés de l'ensemble des parois opaques ainsi que la surface totale des parois opaques du groupe.

5.16.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 47 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithme liées aux parois opaques.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s,k}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers la paroi opaque k	W
$\phi_{sh\_vc,k}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers la paroi opaque k	W
$H_{Th,k}$	Coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
β_k	Inclinaison de la paroi opaque k (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale, 180° : horizontal vers le bas)	°
A_k	Surface de la paroi k	m²

Sorties

Nom	Description	Unité
ϕ_{sh_s}	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers l'ensemble des parois opaques	W
ϕ_{sh_vc}	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers l'ensemble des parois opaques	W
H_{Th}	Coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des parois opaques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
$H^{gr}_{Th\_v}$	Coefficient de transmission thermique global des parois opaques verticales du groupe entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
$H^{gr}_{Th\_hh}$	Coefficient de transmission thermique global des parois opaques du groupe horizontales vers le haut entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
$H^{gr}_{Th\_hb}$	Coefficient de transmission thermique global des parois opaques du groupe horizontales vers le bas entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
A^{gr}_{opv}	Surface des parois déperditives opaques verticales du groupe	m²
A^{gr}_{ophh}	Surface des parois déperditives opaques horizontales tournée vers le haut du groupe	m²
A^{gr}_{ophb}	Surface des parois déperditives opaques horizontales tournée vers le bas du groupe	m²
A^{gr}_{op}	Surface totale des parois déperditives opaques du groupe	m²

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Convf

Tableau 47 : Nomenclature du modèle

5.16.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.16.3.1 ***Calcul du coefficient de transfert thermique global de l'ensemble des parois opaques du groupe***

$$HTh = \sum_{k \in groupe} HTh,k \quad (283)$$

5.16.3.2 ***Calcul du flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe***

$$\phi_{sh\_s} = \sum_{k \in groupe} \phi_{sh\_s,k} \quad (284)$$

5.16.3.3 ***Calcul du flux dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe***

$$\phi_{sh\_vc} = \sum_{k \in groupe} \phi_{sh\_vc,k} \quad (285)$$

5.16.3.4 ***Surface totale des parois opaques du groupe***

$$A_{op}^{gr} = \sum_{k \in groupe} A_k \quad (286)$$

5.16.3.5 ***Surface et coefficients de transfert thermique des parois opaques du groupe par inclinaison***

$$
\begin{aligned}
&si\ 60 \leq \beta_k \leq 120° \ (paroi\ verticale)\\
&A_{opv}^{gr} = \sum_{k \in groupe} A_k\\
&H_{Th\_opv}^{gr} = \sum_{k \in groupe} H_{Th\_k}\\
&si\ \beta_k < 60° \quad (parois\ horizontale\ vers\ le\ haut)\\
&A_{ophh}^{gr} = \sum_{k \in groupe} A_k\\
&H_{Th\_ophh}^{gr} = \sum_{k \in groupe} H_{Th\_k}\\
&sin\,o\,n\ (paroi\ horizontale\ vers\ le\ bas)\\
&A_{ophb}^{gr} = \sum_{k \in groupe} A_k\\
&H_{Th\_ophb}^{gr} = \sum_{k \in groupe} H_{Th\_k}
\end{aligned}
\qquad (287)
$$

5.17 C_BAT_paroi opaque

5.17.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme concerne les paramètres de description d'une paroi opaque et les calculs effectués au niveau de la paroi opaque, à savoir :

- Calcul du flux solaire et du rayonnement de la voûte céleste transmis au groupe à travers la paroi,
- Calcul du coefficient de transfert thermique global $H_{Th,k}$.

5.17.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 48 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de paroi opaque.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
	Drp*	Rayonnement direct atteignant la paroi	W/m²
	Dfp*	Rayonnement diffus atteignant la paroi	W/m²
	Rrp*	Rayonnement réfléchi atteignant la paroi	W/m²
	Q_{er}^{*}	Densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi	W/m²
	$b_{therm,k}$	Coefficient de réduction des déperditions par la paroi opaque k due à la présence d'un espace tampon	-
	$b_{solaire,k}$	Coefficient de réduction des apports solaires par la paroi opaque k due à la présence d'un espace tampon i	-
Th-D	$is_{confort\_adaptatif}(j)$	Indicateur de période de confort d'adaptatif *1: en période de confort adaptatif* *0 : hors période de confort adaptatif*	Ent

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	$S_{f\text{-}c,k}$	Facteur solaire de la paroi opaque k pour le calcul du Cep (paroi non végétalisée)	-	0	1	-
	$S_{f\text{-}e,k}$	Facteur solaire de la paroi opaque k pour le calcul de DH (paroi non végétalisée)	-	0	1	-
	$S_{f\text{-}c,v,k}$	Facteur solaire de la paroi opaque k pour le calcul du Cep (toiture végétalisée)	-	0	1	
	$S_{f\text{-}e,v,k}$	Facteur solaire de la paroi opaque k pour le calcul de DH(toiture végétalisée)	-	0	1	
	U_k	Coefficient de transmission thermique de la paroi k	W/m²K	0	+∞	-
	$Incl_k$	1 : parois verticale, 2 : paroi horizontale flux ascendant, 3 : paroi horizontale flux descendant	-	-	-	-

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	A_k	Surface de la paroi k	m²	0	+∞	
	$Type_{vegetal}$	0 : non végétalisé, 1 : végétalisé	-	0	1	
	$Type_{calcul}$	0 : calcul de Cep, 1 : calcul de Tic	-	0	1	
	β	Inclinaison de la paroi opaque k (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale, 180° : horizontal vers le bas)	°	0°	180°	
	$T_{\_simul\_déb\_veg}$	Heure de simulation à partir de laquelle on considère une toiture végétalisée couverte de végétation (début de saison végétative)	h	0	8760	2161
	$T_{\_simul\_fin\_veg}$	Heure de simulation à partir de laquelle on considère une toiture végétalisée sans végétation (fin de saison végétative)	h	0	8760	6553

Sorties

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s,k}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers la paroi opaque k	W
$\phi_{sh\_vc,k}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers la paroi opaque k	W
$H_{TH,k}$	Coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
$H_{TH\_set,k}$	Coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur en l'absence d'espace tampon	W/K

Variables internes

Nom	Description	Unité
k	Indice indiquant qu'il s'agit de paroi opaque k	W/m²
$S_{f,k}$	Facteur solaire de la paroi opaque k	-
U_{k_β}	Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque k dans sa position réelle en œuvre	W/m²K
Rth_k	Résistance thermique de la paroi k	m².K/W
$U_{vert,k}$	Coefficient de transmission thermique de la paroi k en position verticale	W/m²K
$U_{horiz,asc,k}$	Coefficient de transmission thermique de la paroi k en position horizontale flux ascendant	W/m²K
$U_{horiz,des,k}$	Coefficient de transmission thermique de la paroi k en position horizontale flux descendant	W/m²K
$b_{voute,k}$	Coefficient de réduction des échanges avec la voûte céleste par la paroi opaque k due à la présence d'espace tampons	-
$I_{sr,k}$	Rayonnement solaire global atteignant la paroi opaque k	W/m²
$f_{ce,k}(h)$	Coefficient d'interpolation entre les facteurs de transmission solaire en conditions c et conditions e : *0 : facteur de transmission solaire en conditions c,* *1 : facteur de transmission solaire en conditions e.*	Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
h_e	Coefficient d'échange global (convectif+radiatif) extérieur	W/m²K	25,0
β_1	Inclinaison de la paroi k en-dessous de laquelle on considère la paroi horizontale flux ascendant	°	30
β_2	Inclinaison de la paroi k au-dessus de laquelle on considère la paroi verticale	°	60
β_3	Inclinaison de la paroi k en-dessous de laquelle on considère la paroi verticale	°	120
β_4	Inclinaison de la paroi k au-dessus de laquelle on considère la paroi horizontale flus descendant	°	150

Tableau 48 : Nomenclature des différentes variables du modèle de paroi opaque

5.17.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.17.3.1 ***Calcul du rayonnement solaire global***

Le rayonnement solaire global atteignant la paroi opaque k s'écrit :

$$I_{sr,k} = Drp * + Dfp * + Rrp^{*} \quad (288)$$

5.17.3.2 ***Prise en compte des espaces tampons***

Une paroi opaque peut être en contact avec un espace tampon. L'effet de la présence de l'espace tampon est une réduction des échanges au travers de la paroi traduite par les coefficients $b_{therm,k}$, $b_{solaire,k}$, $b_{voute,k}$.

On fait l'hypothèse que l'espace tampon bloque les échanges de la paroi k avec la voûte céleste, ainsi :

$$b_{voute,k} = 0$$

5.17.3.3 ***Calcul du flux solaire transmis au groupe***

Le flux solaire global absorbé par la paroi opaque k et transmis au groupe s'écrit :

$$\Phi_{sh\_s,k} = A_k \cdot S_{f,k} \cdot I_{sr,k} \cdot b_{solaire,k} \quad (289)$$

On introduit le coefficient d'interpolation entre les conditions « c » et « e », $f_{ce,k}(h)$, variable au cours du temps :

En calculs Th-B ou Th-C:

$$f_{ce,k}(h) = 1 \quad (290)$$

En calculs Th-D:

$$f_{ce,k}(\square h) = 1 - is_{confort\_adaptatif}(j) \quad (291)$$

En modes Th-B, Th-C et Th-D, dans le cas général, le facteur de transmission solaire utilisé dans le calcul devient lui aussi variable à chaque pas de temps de simulation *h*. Il est calculé de la manière suivante :

$$S_{f,k}(\square h) = f_{ce,k}(\square h).S_{f-c,k} + \left[1 - f_{ce,k}(\square h)\right].S_{f-e,k} \quad (292)$$

En modes Th-B, Th-C et Th-D, dans le cas particulier où la paroi est végétalisée ($Type_{végétal}$ = « 1 : végétalisée ») et que le jour j n'est pas inclus dans la période de repos végétatif (h > Tsimul_deb_veg ET h < Tsimul_fin_veg) :

$$S_{f,k}(\square h) = f_{ce,k}(\square h).S_{f-v,c,k} + \left[1 - f_{ce,k}(\square h)\right].S_{f-v,e,k} \quad (293)$$

5.17.3.4 *Calcul du Coefficient de transmission thermique global*

Calcul du coefficient de transmission thermique de la paroi k selon $Incl_k$

Si $Incl_k = 1$ $Rth_k = 1/U_k - 0,17$
Sinon si $Incl_k = 2$ $Rth_k = 1/U_k - 0,14$
Sinon si $Incl_k = 3$ $Rth_k = 1/U_k - 0,21$

$U_{vert,k} = 1 / (Rth_k + 0,17)$
$U_{horiz,asc,k} = 1 / (Rth_k + 0,14)$
$U_{horiz,des,k} = 1 / (Rth_k + 0,21)$

Le coefficient de transmission thermique U_k est calculé en tenant compte de l'inclinaison de la paroi, sur le principe du schéma suivant :

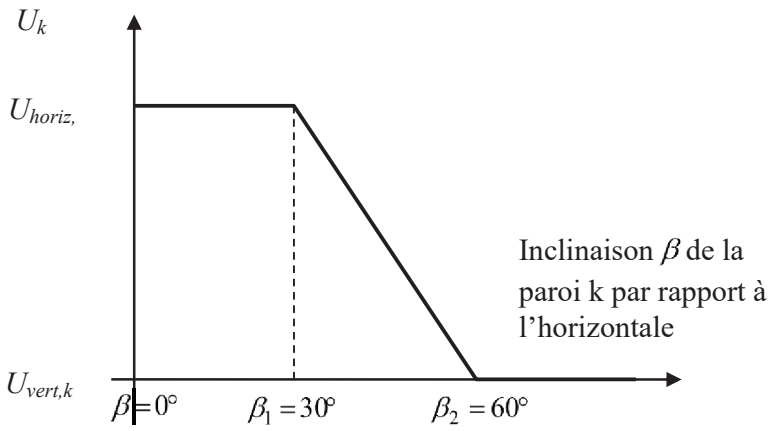


Figure 64 : Evolution du coefficient de transmission thermique de la paroi en fonction de son inclinaison

Où β est l'angle, exprimé en degré, entre l'horizontale et le plan de la paroi.

Ainsi, pour la paroi k :

- si $0° \leq \beta < \beta_1$, la paroi est supposée horizontale flux ascendant

$$U_{k\_\beta} = U_{horiz,asc,k}$$

- si $\beta_1 \leq \beta < \beta_2$, le coefficient de transmission thermique est calculé par interpolation linéaire entre la position horizontale et la position verticale (294)

$$U_{k\_\beta} = \frac{U_{vert,k} - U_{horiz,asc,k}}{\beta_2 - \beta_1} \cdot \beta + \frac{\beta_2 \cdot U_{horiz,asc,kk} - \beta_1 \cdot U_{vert,k}}{\beta_2 - \beta_1}$$

- si $\beta_2 \leq \beta < \beta_3°$, la paroi est supposée verticale

$$U_{k\_\beta} = U_{vert,k}$$

- si $\beta_3 \leq \beta < \beta 4$, le coefficient de transmission thermique est calculé par interpolation linéaire entre la position horizontale flux descendant et la position verticale

$$U_{k\_\beta} = \frac{U_{vert,k} - U_{horiz,des,k}}{\beta_4 - \beta_3} \cdot \beta + \frac{\beta_4 \cdot U_{horiz,des,k} - \beta_3 \cdot U_{vert,k}}{\beta_4 - \beta_3}$$

- si $\beta_4 \leq \beta \leq 180°$, la paroi est supposée horizontale flux descendant

$$U_{k\_\beta} = U_{horiz,des,k}$$

Le coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur s'écrit :

$$H_{TH,k} = A_k \cdot b_{therm,k} \cdot U_{k\_\beta} \quad (295)$$

Le coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur en l'absence d'espace tampon s'écrit :

$$H_{TH\_set,k} = A_k \cdot U_{k\_\beta} \quad (296)$$

5.17.3.5 *Calcul du flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste*

Le flux de chaleur transmis au groupe dû au rayonnement froid de la voûte céleste s'écrit :

$$\Phi_{sh\_vc,k} = A_k \cdot b_{voute,k} \left({Q_{er}}^* \cdot \frac{U_{k\_\beta}}{h_e} \right) \quad (297)$$

5.18 **S1_BAT_assemblage_ponts_thermiques**

5.18.1 INTRODUCTION

Trois fiches algorithmes liées aux ponts thermiques sont assemblées

- la fiche C_BAT_pont thermique (calcul des flux solaires et lumineux transmis au groupe, calcul du rayonnement vers la voûte céleste, calcul du coefficient de transmission thermique global),

- la fiche C_EEX_environnement_proche pour le calcul des flux solaires et lumineux incidents en tenant compte des masques proches et lointains, et le calcul de la densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste,

- la fiche C_BAT_ensemble_ponts_thermiques.

5.18.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 49 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithme liées aux ponts thermiques.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Météo	I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
	Idi	Rayonnement solaire diffus horizontal isotrope	W/m²
	ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
	γ	Hauteur du soleil	rd
E-T	$b_{therm,l}$	Coefficient de réduction des déperditions par le pont thermique l due à la présence de l'espace tampon	-
	$b_{solaire,l}$	Coefficient de réduction des apports solaires par le pont thermique l due à la présence de l'espace tampon i	-

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Environnement proche : voir fiche environnement proche Parois opaques : voir fiche parois opaques Ensemble ponts thermiques : voir fiche ensemble ponts thermiques				
Niveau_detail_calcul	Type de prise en compte des ponts thermiques : - 0 : calcul détaillé avec les orientations - 1 : calcul simplifié, répartition uniforme				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s\_pt}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers l'ensemble des ponts thermiques	W
$\phi_{sh\_vc\_pt}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers l'ensemble des ponts thermiques	W
H_{Th_pt}	Coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des ponts thermiques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
L^{gr}_{pt}	Longueur des ponts thermiques déperditifs verticaux du groupe	m²

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 49 : Nomenclature du modèle

5.18.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les ponts thermiques peuvent être saisis de deux manières différentes, dites « simplifiée » (*Niveau_detail_calcul* = 1) ou « détaillée » (*Niveau_detail_calcul* = 0).

1. Pour la description détaillée, l'utilisateur saisit l'ensemble des paramètres des ponts thermiques comme décrit dans la fiche C_BAT_pont thermique.

2. L'utilisateur peut aussi opter pour une description simplifiée. Dans ce cas, les paramètres d'intégration suivants ne sont pas renseignés :

   - α , défini dans l'environnement proche,
   - β , défini dans l'environnement proche,
   - Il n'y alors ni masques ni espaces tampons associés.

   Parmi les paramètres d'intégration concernés, seule la longueur est saisie par l'utilisateur. Le comportement du pont thermique est alors modélisé par **4 ponts thermiques différents** orientés respectivement par :

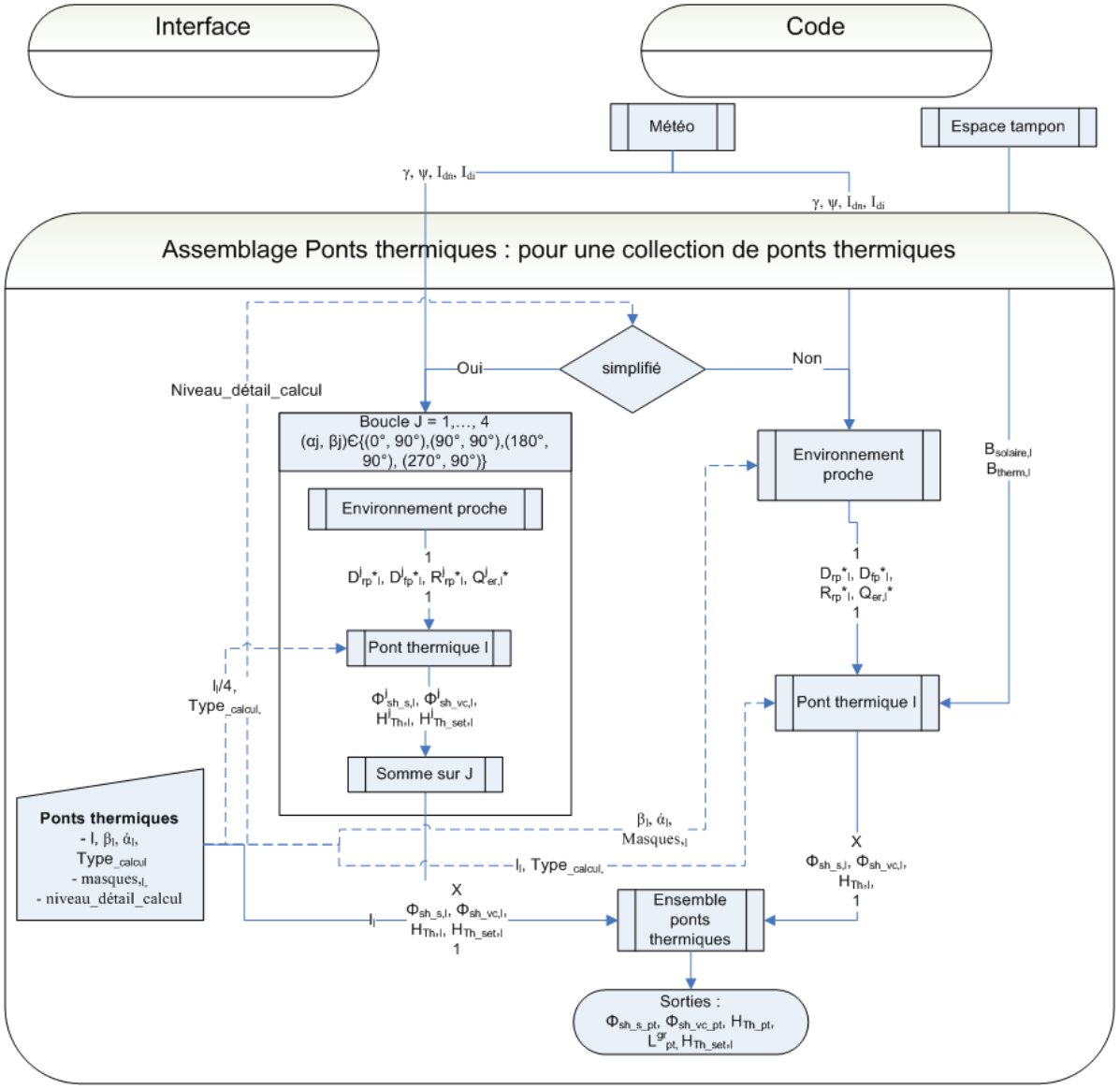
   $$(\alpha,\beta) = (0°,90°),(\alpha,\beta) = (90°,90°),(\alpha,\beta) = (180°,90°),(\alpha,\beta) = (270°,90°), \quad (298)$$

   et de longueur ¼ de la longueur rentrée par l'utilisateur.

   Par hypothèse aucun de ces 4 ponts thermiques n'est lié à un masque ou à un espace tampon.

5.18.4 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Le schéma de la figure ci-dessous présente l'organisation des composants pour l'ensemble des ponts thermiques d'un groupe.



La fiche C_EEX_environnement_proche calcule les rayonnements solaires atteignant le pont thermique compte tenu de la présence possible de masques proches et/ou lointains.

Dans le calcul détaillé des ponts thermiques les rayonnements sont alors utilisés par C_BAT_pont thermique pour déterminer le flux de chaleur dû au rayonnement solaire ainsi que le flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe par le pont. Est déterminé également le coefficient de transmission thermique du pont. La présence d'un espace tampon est prise en compte par des coefficients de réduction des déperditions et des apports solaires.

Dans le calcul simplifié il n'y a ni masques ni espaces tampons.

5.19 C_BAT_pont thermique

5.19.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme concerne les paramètres de description d'un pont thermique et les calculs effectués, à savoir :

- Calcul des flux de chaleur transmis au groupe à travers le pont thermique
- Calcul du coefficient de transfert thermique global $H_{Th,l}$.

5.19.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 50 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de pont thermique.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Groupe	Drp*l	Rayonnement direct atteignant le pont	W/m²
	Dfp*l	Rayonnement diffus atteignant le pont	W/m²
	Rrp*l	Rayonnement réfléchi atteignant le pont	W/m²
	Q_{er}*l	Densité de flux de chaleur de l'environnement extérieur vers la voûte céleste, compte tenu de l'inclinaison de la paroi	W/m²
	$b_{therm,l}$	Coefficient de réduction des déperditions par le pont thermique l due à la présence d'un espace tampon	-
	$b_{solaire,l}$	Coefficient de réduction des apports solaires par le pont thermique l due à la présence d'un espace tampon i	-
	$is_{confort\_adaptatif}(j)$	Indicateur de période de confort d'adaptatif *1: en période de confort adaptatif* *0 : hors période de confort adaptatif*	Ent

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$S_{f\text{-}c,l}$	Facteur solaire du pont thermique l pour le calcul du Cep	m^{-1}	0	1	
$S_{f\text{-}e,l}$	Facteur solaire du pont thermique l pour le calcul du Tic	m^{-1}	0	1	
Ψ_l	Coefficient de transmission thermique du pont thermique vertical l	W/m.K	0	+∞	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
l_l	Longueur du pont thermique *l*	m	0	+∞	-
$Type_{calcul}$	0 : calcul de Cep, 1 : calcul de Tic	-	0	1	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s,l}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers le pont thermique l	W
$\phi_{sh\_vc,l}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers le pont thermique l	W
$H_{Th,l}$	Coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
$H_{Th\_set,l}$	Coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur en l'absence d'espace tampon	W/K

Variables internes

Nom	Description	Unité
$S_{f,l}$	Facteur solaire du pont thermique l	m^{-1}
l	Indice indiquant qu'il s'agit du pont thermique l	W/m
$b_{voute,l}$	Coefficient de réduction des échanges avec la voûte céleste par le pont thermique l due à la présence d'espace tampons	-
$I_{sr,l}$	Rayonnement solaire global atteignant le pont thermique l	W/m
$f_{ce,l}(h)$	Coefficient d'interpolation entre les facteurs de transmission solaire en conditions c et conditions e : *0 : facteur de transmission solaire en conditions c,* *1 : facteur de transmission solaire en conditions e.*	Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
h_e	Coefficient d'échange global (convectif+radiatif) extérieur	W/m²K	25,0

Tableau 50 : Nomenclature des différentes variables du modèle de pont thermique

5.19.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.19.3.1 ***Calcul du rayonnement solaire global***

Le rayonnement solaire global atteignant le pont thermique l s'écrit :

$$I_{sr,l} = Drp\ ^{*}l + Dfp^{*}l + Rrp^{*}l \quad (299)$$

5.19.3.2 ***Prise en compte des espaces tampons : seulement pour le calcul détaillé***

Un pont thermique peut être en contact avec un espace tampon. L'effet de la présence de l'espace tampon est une réduction des échanges au travers de la paroi traduite par les coefficients $b_{therm,l}$, $b_{solaire,l}$, $b_{voute,l}$.

On fait l'hypothèse que l'espace tampon bloque les échanges du pont thermique l avec la voûte céleste, ainsi :

$$b_{voute,l} = 0$$

5.19.3.3 ***Calcul des flux solaires transmis au groupe***

Le flux solaire global absorbé par le pont thermique l et transmis au groupe s'écrit :

$$\Phi_{sh\_s,l} = l_l \cdot S_{f,l} \cdot I_{sr,l} \cdot b_{solaire,l} \quad (300)$$

On introduit le coefficient d'interpolation entre les conditions « c » et « e », $f_{ce,l}(h)$, variable au cours du temps :

En calculs Th-B ou Th-C:

$$f_{ce,l}(h) = 1 \quad (301)$$

En calculs Th-D:

$$f_{ce,l}(\square h) = 1 - is_{confort\_adaptatif}(j) \quad (302)$$

Le facteur de transmission solaire utilisé dans le calcul devient lui aussi variable en fonction du pas de temps de simulation :

$$S_{f,l}(\square h) = f_{ce,l}(\square h).S_{f-c,l} + \left[1 - f_{ce,l}(\square h)\right].S_{f-e,l} \quad (303)$$

5.19.3.4 ***Calcul du Coefficient de transmission thermique global***

Le coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur s'écrit :

$$H_{Th,l} = l_l \cdot b_{therm,l} \cdot \Psi_l \quad (304)$$

Le coefficient de transmission thermique global de la paroi opaque k entre l'extérieur et l'intérieur en l'absence d'espace tampon s'écrit :

$$H_{Th,l} = l_l \cdot \Psi_l \quad (305)$$

5.19.3.5 *Calcul du flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste*

Le flux de chaleur transmis au groupe dû au rayonnement froid de la voûte céleste s'écrit :

$$\Phi_{sh\_vc,l} = l_l \cdot \ b_{voute,l} \left({Q_{er}}^* l \cdot \frac{\Psi_l}{h_e} \right) \quad (306)$$

5.20 C_BAT_ensemble_ponts_thermiques

5.20.1 INTRODUCTION

Cette fiche calcule les propriétés de l'ensemble des ponts thermiques ainsi que la longueur totale des ponts thermiques du groupe.

5.20.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 51 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithme liées aux ponts thermiques.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\phi_{sh\_s,l}$	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers le pont thermique l	W
$\phi_{sh\_vc,l}$	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers le pont thermique l	W
$H_{Th,l}$	Coefficient de transmission thermique global du pont thermique l entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
l_l	longueur du pont thermique l	m

Sorties

Nom	Description	Unité
ϕ_{sh_s}	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers l'ensemble des ponts thermiques	W
ϕ_{sh_vc}	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers l'ensemble des ponts thermiques	W
H_{Th}	Coefficient de transmission thermique global de l'ensemble des ponts thermiques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
L^{gr}_l	Longueur des ponts thermiques déperditifs du groupe	m

Variables internes

Nom	Description	Unité

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 51 : Nomenclature du modèle

5.20.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.20.3.1 ***Calcul du coefficient de transfert thermique global de l'ensemble des parois opaques du groupe***

$$HTh = \sum_{l \in groupe} HTh, l \quad (307)$$

5.20.3.2 ***Calcul du flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe***

$$\phi_{sh\_s} = \sum_{l \in groupe} \phi_{sh\_s,l} \quad (308)$$

5.20.3.3 ***Calcul du flux dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe***

$$\phi_{sh\_vc} = \sum_{l \in groupe} \phi_{sh\_vc,l} \quad (309)$$

5.20.3.4 ***Longueur totale des ponts thermiques du groupe***

$$L_l^{gr} = \sum_{l \in groupe} l_l \quad (310)$$

5.21 C_BAT_comportement thermique d'un groupe

5.21.1 INTRODUCTION

Un groupe correspond à un local ou à un ensemble de locaux dont l'air est supposé homogène en température et en humidité.

Cette partie est consacrée à la description du modèle de comportement thermique d'un groupe. Il s'agit d'un modèle dynamique, au pas de temps horaire, fondé sur des simplifications du transfert de chaleur entre les environnements intérieurs et extérieurs,. Ce modèle peut être représenté sous forme d'un réseau RC comme le montre la Figure 65.

On identifie trois nœuds de température principaux pour caractériser le ou les locaux :

- le nœud de température d'air θ_i,
- le nœud de température de surface des parois contribuant à l'inertie quotidienne θ_{mq}, c'est-à-dire à forte capacité thermique et faible résistance thermique aux abords de la surface interne. Le comportement thermique sur le plus long terme de ces parois est modélisé par superposition d'une inertie séquentielle (basée sur la moyenne de θ_{mq} sur 24h) et d'une inertie annuelle (basée sur la moyenne de θ_{mq} sur plusieurs semaines) à l'inertie quotidienne.
- le nœud de température de surface des parois ne contribuant pas à l'inertie quotidienne, θ_l. Il s'agit en réalité d'une agglomération de la température de surface des baies (θ_{lb}) et de celle des parois séparatives internes à faible capacité thermique ou forte résistance thermique aux abords de la surface interne (θ_{la}).

Pour les besoins de la résolution, une température secondaire fictive, θ_s est introduite. θ_s communique avec les trois nœuds précédemment évoqués et facilite la représentation l'ensemble des échanges convectif et radiatifs dans le ou les locaux.

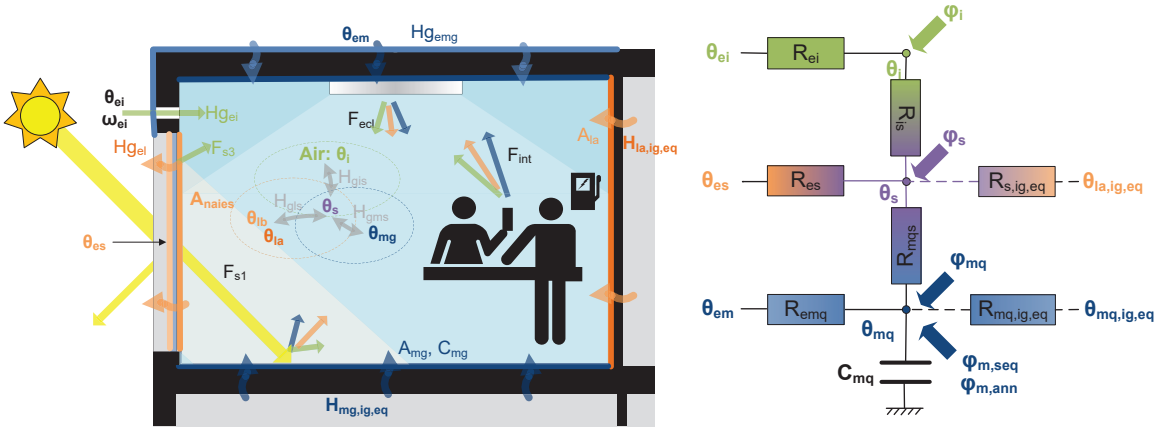


Figure 65 : Schéma RC du modèle de comportement thermique d'un groupe

Le modèle permet de calculer pour un groupe, les puissances requises (chauffage, refroidissement) et les températures intérieures (air, opérative, radiante moyenne…). Le calcul s'effectue en tenant compte des échanges thermiques avec l'extérieur (à travers l'enveloppe et par ventilation), des apports solaires et des gains internes dus aux occupants et aux équipements (bureautique, systèmes, éclairage artificiel…).

Il est à souligner que les transferts thermiques par conduction entre les groupes ne sont pas pris en compte. On considère uniquement les transferts convectifs de chaleur via les débits d'air de ventilation entre les groupes.

5.21.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 52 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de comportement thermique d'un groupe. Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Débits d'ar	θ_a^j (h)	Température de l'air entrant dans le groupe (en provenance de l'extérieur, d'un espace tampon, d'autres groupes ou des systèmes spécifiques) par le composant aéraulique *j*	°C
	Q_{ma}^j(h)	Débit d'air entrant dans le groupe (en provenance de l'extérieur, d'autres groupes ou des systèmes spécifiques) par le composant aéraulique j	kg/s
	ω_a^j(h)	Humidité de l'air entrant dans le groupe (en provenance de l'extérieur, d'autres groupes ou des systèmes spécifiques) par le composant aéraulique j	kg/kg
Baies	ϕ_{s1}(h)	Flux de chaleur total transmis par les baies au groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde	W
	ϕ_{s2}(h)	Flux de chaleur total transmis par les baies au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W
	ϕ_{s3}(h)	Flux de chaleur total transmis par les baies au groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
	$\phi_{vc,b}$(h)	Flux total transmis dû au rayonnement froid vers la voute céleste	W
	$H_{TH,b}$(h)	Facteur de transmission thermique global par les baies entre les environnements intérieurs et extérieurs	W/K
Parois opaques	$\phi_{s,k}$(h)	Flux de chaleur total dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers les parois opaques	W
	$\phi_{vc,k}$(h)	Flux de chaleur total dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers les parois opaques	W
	$H_{TH,k}$(h)	Coefficient de transmission thermique global des parois opaques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
Ponts thermiques	$\phi_{s,pt}$(h)	Flux de chaleur dû au rayonnement solaire absorbé transmis au groupe à travers les ponts thermiques	W
	$\phi_{vc,pt}$(h)	Flux de chaleur dû au rayonnement froid de la voûte céleste transmis au groupe à travers les ponts thermiques	W
	$H_{TH,pt}$(h)	Coefficient de transmission thermique global des ponts thermiques entre l'extérieur et l'intérieur	W/K
Ecl.	$F_{ecl,conv}$(h) $F_{ecl,rad}$(h)	Flux convectif et radiatif récupérable de l'éclairage artificiel	Wh
Groupe	ϕ_{int_rad}(h) ϕ_{int_conv}(h)	Apports internes radiatifs et convectifs hors-occupants	W
	$\phi_{int\_occ\_conv}$(h) $\phi_{int\_occ\_rad}$(h)	Apports internes convectif et radiatif dus aux occupants du groupe	W

	$\phi_{recup\_rad}(h)$ $\phi_{recup\_conv}(h)$	Pertes récupérables des systèmes sous forme de flux de chaleur radiatif et convectif	W

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Conv	Min	Max	Unité
	Mode	Mode de calcul (0-Th-B calcul du Bbio / 1-Th- C calcul du Cep)	-	0	2	-
Inertie quotidienne	$Type_{inertie\_quo}$	Classe d'inertie quotidienne au sens des règles Th-I	-	0	5	-
Inertie quotidienne	A_{mq_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du groupe A_{gr}	-	0	+∞	m²/m²
Inertie quotidienne	C_{mq_surf}	Capacité thermique quotidienne du groupe ramenée à la surface utile du groupe A_{gr}	-	0	+∞	$kJ.m^{-2}.K^{-1}$
Inertie séquentielle	$Type_{inertie\_seq}$	Classe d'inertie séquentielle au sens des règles Th-I	-	0	5	-
Inertie séquentielle	A_{ms_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du groupe A_{gr} au sens de l'inertie séquentielle	-	0	+∞	m²/m²
Inertie séquentielle	C_{ms_surf}	Capacité thermique séquentielle du groupe ramenée à la surface utile du groupe A_{gr}	-	0	+∞	$kJ.m^{-2}.K^{-1}$
Inertie annuelle	$Type_{inertie\_ann}$	Classe d'inertie annuelle au sens des règles Th-I	-	0	1	-
Inertie annuelle	A_{ma_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du groupe A_{gr} au sens de l'inertie annuelle	-	0	+∞	m²/m²
Inertie annuelle	C_{ma_surf}	Capacité thermique annuelle du groupe ramenée à la surface utile du groupe A_{gr}	-	0	+∞	$kJ.m^{-2}.K^{-1}$

Paramètres du modèle

	Nom	Description	Conv	Unité
	$SREF^{gr}$	Surface de référence du groupe	-	m²
	$A_{tparois}$	Surface interne totale des parois, plafond et plancher du groupe	4,5 x A	m²
	A_{baies}	Surface interne totale des baies	-	M²
Inerties quotidiennes, séquentielles et annuelles	A_{mq}	Surface d'échange équivalente des parois opaques lourdes avec l'ambiance au sens de l'inertie quotidienne		m²
Inerties quotidiennes, séquentielles et annuelles	A_{ms}	Surface d'échange équivalente des parois opaques lourdes au sens de l'inertie séquentielle avec l'ambiance		m²
Inerties quotidiennes, séquentielles et annuelles	A_{ma}	Surface d'échange équivalente des parois opaques lourdes au sens de l'inertie annuelle avec l'ambiance		m²
Inerties quotidiennes, séquentielles et annuelles	C_{mq}	Capacité thermique quotidienne du groupe		kJ/K
Inerties quotidiennes, séquentielles et annuelles	C_{ms}	Capacité thermique séquentielle du groupe		kJ/K

Constantes physiques du modèle	C_{ma}	Capacité thermique annuelle du groupe		kJ/K
	$Nbj_{séq}$	Nombre de jours constituant une séquence en ce qui concerne le calcul de l'inertie annuelle	14	j
	p_{top}	Part de la température θ_s prise en compte dans la température opérative θ_s	Voir eq. (314)	-
	h_{ri}	Coefficient d'échange radiatif intérieur moyen	5,5	$W.m^{-2}.K^{-1}$
	h_{ci}	Coefficient d'échange convectif intérieur moyen	2,5	$W.m^{-2}.K^{-1}$
	h_{rs}	Coefficient d'échange radiatif intérieur corrigé	1,2 x h_{ri}	$W.m^{-2}.K^{-1}$
	f_{rm}	Part radiative des apports internes récupéré au nœud de température θ_{mq}		-
	f_{rs}	Part radiative des apports internes récupéré au nœud de température θ_s		-
	f_{rsd}	Part restante du flux solaire ϕ_{sd} transmise au nœud de température θ_s		-
	f_{rmd}	Part restante du flux solaire transmis par les baies sous forme de rayonnement CLO au nœud de température θ_{mq}		-
	f_{sa}	Part du flux solaire ϕ_{sd} transmise directement au nœud de température θ_i	0,1	-

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Représentation en réseau RC équivalent	h_{is}	Somme des coefficients d'échange radiatif et convectif intérieur	$W.m^{-2}.K^{-1}$
	A_l	Surface globale des parois légères internes et des baies	m²
	p_{trm}	Part de la température θ_s prise en compte dans la température radiante moyenne θ_{rm}	-
	Hg_{is} R_{is}	Transmission thermique/résistance équivalente dû aux échanges internes par convection et rayonnement (= $1/R_{is}$)	W/K
	Hg_{mqs} R_{mqs}	Transmission thermique/résistance équivalente entre les surfaces internes au sens de l'inertie quotidienne et l'ambiance représentée par θ_s	W/K K/W
	Hg_{mss} R_{mss}	Transmission thermique/résistance équivalente entre les surfaces internes au sens de l'inertie séquentielle et l'ambiance représentée par θ_s	W/K K/W
	Hg_{mas} R_{mas}	Transmission thermique/résistance équivalente entre les surfaces internes au sens de l'inertie annuelle et l'ambiance représentée par θ_s	W/K K/W
Flux thermique par les parois	$H_{TH,k+pt}(h)$	Coefficient de transmission thermique correspond aux composants opaques du groupe donnant sur l'extérieur et aux ponts thermiques les concernant	W/K
	$Hg_{em}(h)$ $R_{em}(h)$	Transmission thermique/résistance équivalente entre l'environnement extérieur et la surface intérieure des parois opaques (Hg_{em} = $1/R_{em}$)	W/K
	$\theta_{es}(h)$	Température extérieure équivalente des baies	°C
	$\theta_{em}(h)$	Température extérieure équivalente des composants opaques	°C
aux échanges aérauliqu	$Hg_{ei}(h)$	Facteur de transmission thermique dû renouvellement d'air (= $1/R_{ei}$)	W/K
	$m_{eq}(h)$	Somme des débits d'air entrants au niveau des parois extérieures du groupe, du débit d'air neuf soufflés au niveau du groupe et du débit	kg/s

		d'air en provenance d'autres groupes	
Prise en compte des inerties séquentielle et annuelle	$\omega_{eq}(h)$	Humidité spécifique équivalente de l'air au niveau du groupe	kg/kg
	$\theta_{eieq}(h)$	Température équivalente de l'air entrant dans le groupe en provenance de l'extérieur et d'autres groupes	°C
	$h_{eq}(h)$	Enthalpie spécifique équivalente de l'air au niveau du groupe	J/kg
	$h_j(h)$	Enthalpie de l'air entrant dans le groupe lié au flux d'air d'indice j	J/kg
	$\Delta C_{m,s-q}$	Différence entre la capacité thermique séquentielle du groupe et la capacité thermique quotidienne du groupe	kJ/K
	$\Delta C_{m,a-q}$	Différence entre la capacité thermique annuelle du groupe et la capacité thermique quotidienne du groupe	kJ/K
	$\Delta R_{ms,s-q}$	Différence entre les résistances R_{ms_s} et R_{ms_q}	K/W
	$\Delta R_{ms,a-q}$	Différence entre les résistances R_{ms_a} et R_{ms_q}	K/W
	$\theta_{mq,24h}(h)$	Moyenne sur 24 heures des températures θ_{mq}	°C
	$\theta_{mq,Nbj\_séq}(h)$	Moyenne sur le nombre de jours $Nbj_{séq}$ des températures θ_{mq}	°C
	$\theta_{ms,moy}(h)$	Température moyenne de θ_{ms} sur le pas de temps	°C
	$\theta_{ma,moy}(h)$	Température moyenne de θ_{ma} sur le pas de temps	°C
Flux solaires	$\phi_{sd}(h)$	Flux de chaleur transmis par les baies vitrées au groupe sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde	W
	$\phi_{sl}(h)$	Flux de chaleur transmis par les baies vitrées au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde	W
	$\phi_{sh}(h)$	Flux de chaleur transmis par les parois opaques et les ponts thermiques au groupe sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde et d'échange convectif	W
	$\phi_{svl}(h)$	Flux de chaleur transmis par les baies vitrées au groupe à travers la lame d'air intérieure ventilée (lame d'air se situant entre la baie vitrée et la protection solaire intérieure)	W
	$\phi_{l}(h)$	Flux thermiques sur la surface interne des baies et des autres parois légères internes liés aux apports internes, solaires (courte longueur d'onde), aux pertes thermiques récupérables des systèmes et à l'éclairage	W
	$\phi_{i}(h)$ $\phi_{s}(h)$ $\phi_{mq}(h)$	Flux thermiques aux nœuds d'air θ_{i} , θ_{s} et θ_{mq} liés aux apports internes, solaires (courte longueur d'onde), aux pertes thermiques récupérables des systèmes et à l'éclairage	W
	$\phi_{mq,tot}(h)$	Flux thermique total sur le nœud d'air θ_{mq}	W
Inerties séquentielle et annuelle	$U_1(h)$ $U_2(h)$ $U_3(h)$	Coefficients de transfert 1, 2 et 3 (variables intermédiaires de résolution)	W/K
	$\theta_{ms}(h)$ $\theta_{ms}(h-1)$	Température de masse au sens de l'inertie séquentielle à la fin du pas de temps h et h-1	°C
	$\theta_{ma}(h)$ $\theta_{ma}(h-1)$	Température de masse au sens de l'inertie annuelle à la fin du pas de temps h et h-1	°C
	$\phi_{mq\_seq}(h)$ $\phi_{mq\_seq}(h-1)$	Flux absorbé par la capacité thermique Cms aux pas de temps h et h-1	W

	$\phi_{mq\_ann}(h)$ ϕ_{mq_ann} (h-1)	Flux absorbé par la capacité thermique Cma aux pas de temps h et h-1	W

Sorties

	Nom	Description	Unité
Matrice des températures du groupe	$\theta_{i,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{i(0;0)}(h)$ $\theta_{i,moy(10;0)}(h)$, $\theta_{i(10;0)}(h)$ $\theta_{i,moy(0;10)}(h)$, $\theta_{i(0;10)}(h)$	Température de l'air moyenne/à la fin du pas de temps à puissance nulle, à puissance émise de 10 W/m² intégralement convective et à puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{s,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{s(0;0)}(h)$ $\theta_{s,moy(10;0)}(h)$, $\theta_{s(10;0)}(h)$ $\theta_{s,moy(0;10)}(h)$, $\theta_{s(0;10)}(h)$	Température secondaire moyenne/à la fin du pas de temps du groupe à puissance nulle, à puissance émise de 10 W/m² intégralement convective et à puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{mq,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{mq(0;0)}(h)$ $\theta_{mq,moy(10;0)}(h)$, $\theta_{mq(10;0)}(h)$ $\theta_{mq,moy(0;10)}(h)$, $\theta_{mq(0;10)}(h)$	Température moyenne de masse/à la fin du pas de temps à puissance nulle, à puissance émise de 10 W/m² intégralement convective et à puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{rm,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{rm(0;0)}(h)$ $\theta_{rm,moy,(10;0)}(h)$, $\theta_{rm(10;0)}(h)$ $\theta_{rm,moy(0;10)}(h)$, $\theta_{rm(0;10)}(h)$	Température radiante moyenne/à la fin du pas de temps à puissance nulle, à puissance émise de 10 W/m² intégralement convective et à puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{op,moy,(0;0)}(h)$, $\theta_{op(0;0)}(h)$ $\theta_{op,moy,(10;0)}(h)$, $\theta_{op(10;0)}(h)$ $\theta_{op,moy,(0;10)}(h)$, $\theta_{op(0;10)}(h)$	Température opérative moyenne/à la fin du pas de temps à puissance nulle, à puissance émise de 10 W/m² intégralement convective et à puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C

Constantes

Nom	Description	Conv.	Unité
Cv	Chaleur massique de l'eau	1830	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
Ca	Chaleur massique de l'air	1006	$J.kg^{-1}.K^{-1}$
H_{fg}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	25×10^5	$J.kg^{-1}$

Tableau 52 : Nomenclature des différentes variables du modèle de comportement thermique d'un groupe

5.21.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

5.21.3.1 ***Etapes de calculs***

Le comportement thermique d'un groupe est représenté par une droite appelée « la droite du groupe ». Cette droite exprime la relation linéaire qui existe entre la température du groupe mesurée par la sonde de température, θ_{sd}, et la puissance totale (convective + radiative) fournie par le système d'émission (ventilo-convecteurs, radiateurs…) du groupe, ϕ_{sys}.

Le comportement du système d'émission est également représenté par une courbe reliant θ_{sd} et ϕ_{sys}. La droite du groupe, la courbe du système d'émission et leur point d'intersection sont calculés à chaque pas de temps de simulation.

L'intersection entre cette droite et la courbe de comportement du système d'émission permet d'obtenir la température de fonctionnement du groupe et la puissance totale émise par le système d'émission.

Le calcul du comportement thermique d'un groupe s'effectue suivant les étapes suivantes :

- Etape 1 : calcul des coefficients de transferts thermiques Hg_{ei}, Hg_{es}, Hg_{em}, Hg_{is} et Hg_{ms}.
- Etape 2 : calcul des températures extérieures équivalentes θ_{eieq}, θ_{es}, et θ_{em}.
- Etape 3 : calcul des flux de chaleur internes ϕ_i, ϕ_s, ϕ_{mq}.
- Etape 4: prise en compte de l'inertie séquentielle et annuelle
- Etape 5 : résolutions du bilan thermique pour le calcul de la matrice du comportement thermique du groupe

5.21.3.2 ***Hypothèses***

Les hypothèses suivantes sont imposées par convention en ce qui concerne les constantes physiques du modèle thermique :

$h_{ci} = 2{,}5$ (W.m^{-2}.K^{-1}) (311)

$h_{ri} = 5{,}5$ (W.m^{-2}.K^{-1}) (312)

$A_{tparois} = 4{,}5 \times A^{gr}$ (m²) (313)

$p_{top} = 0{,}5$ (314)

Le nombre de jours d'une séquence pour le calcul de l'inertie séquentielle est fixé à la valeur suivante :

$$NB_{j,seq} = 14 \text{ j} \quad (315)$$

En mode Th-B et Th-C, les inerties séquentielle et annuelle ne sont pas prises en compte.

5.21.3.3 ***Calcul des paramètres d'inertie du modèle***

Les valeurs adoptées pour A_{mq_surf} et C_{mq_surf} en fonction de la classe d'inertie $Type_{inertie\_quo}$ sont les suivantes :

Classe d'inertie $Type_{inertie\_quo}$	A_{mq_surf} (m²/m²)	C_{mq_surf} (kJ.K^{-1}.m²)
1 : Très légère	2,5	80
2 : Légère	2,5	110
3 : Moyenne	2,5	165
4 : Lourde	3,0	260
5 : Très lourde	3,5	370

Tableau 53 : Classes d'inertie quotidienne

La valeur $Type_{inertie\_quo}$ = *0 : Personnalisée* permet la saisie directe des valeurs de A_{mq_surf} et C_{mq_surf}.

Classe d'inertie $Type_{inertie\_seq}$	C_{ms_surf} (kJ.K^{-1}.m²)
1 : Par défaut	C_{mq_surf}
2 : Très légère	C_{mq_surf}
3 : Légère	250
4 : Moyenne	500
5: Lourde	850

Tableau 54 : Classes d'inertie séquentielle

La valeur $Type_{inertie\_seq}$ = *0 : Personnalisée* permet la saisie directe de la valeur de C_{ms_surf}.

$Type_{inertie\_ann}$ ne peut prendre que deux valeurs :

- *0 : Personnalisée*, dans ce cas la valeur de C_{ma_surf} est saisie directement,
- *1 : Par défaut*, dans ce cas, on retient la même valeur que l'inertie séquentielle :

$$C_{ma\_surf} = C_{ms\_surf} \quad (316)$$

A_{ms_surf} et A_{ma_surf} sont saisies dans tous les cas.

A_{mq}, A_{ms} et A_{ma}, surfaces d'échange avec les nœuds de températures des différentes constantes d'inertie sont calculées de la manière suivante :

$$A_{mq} = A_{mq\_surf} \times A \quad (317)$$

$$A_{ms} = A_{ms\_surf} \times A \quad (318)$$

$$A_{ma} = A_{ma\_surf} \times A \quad (319)$$

C_{mq} est calculée de la manière suivante :

$$C_{mq} = C_{mq\_surf} \times A^{gr} \quad (320)$$

C_{ms} est calculée de la manière suivante :

$$C_{ms} = C_{ms\_surf} \times A^{gr} \quad (321)$$

C_{ma} est calculée de la manière suivante :

$$C_{ma} = C_{ma\_surf} \times A^{gr} \quad (322)$$

5.21.3.4 *Calcul des coefficients de transferts thermiques internes avec le nœud de température θ_s*

Le coefficient de transfert thermique dû aux échanges internes par convection et rayonnement, Hg_{is}, est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Hg_{is} = \frac{A_{tparois}}{\frac{1}{h_{ci}} - \frac{1}{h_{is}}} \quad (323)$$

Où h_{is} est le coefficient d'échange surfacique global d'une paroi intérieure par convection et rayonnement :

$$h_{is} = h_{ci} + h_{rs} \quad (324)$$

Et :

$$h_{rs} = 1{,}2.\, h_{ri} \quad (325)$$

Le coefficient de transfert thermique entre les surfaces internes des composants opaques au sens de l'inertie quotidienne et l'air intérieur, Hg_{mq_s}, est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Hg_{mqs} = h_{is} \cdot A_{mq}$$
$$R_{mqs} = \frac{1}{Hg_{mqs}} \quad (326)$$

De même, les coefficients de transfert thermique aux surfaces internes des composants opaques au sens de l'inertie séquentielle et de l'inertie annuelle, *Hg_{ms_s} et Hg_{ma_s}*, sont calculés de le manière suivante :

$$Hg_{mss} = h_{is} \cdot A_{ms}$$
$$R_{mss} = \frac{1}{Hg_{mss}} \quad (327)$$

$$Hg_{mas} = h_{is}.A_{ma}$$
$$R_{mas} = \frac{1}{Hg_{mas}} \quad (328)$$

$$\Delta R_{ms,s-q} = R_{mss} - R_{mqs}$$
$$\Delta Hg_{ms,s-q} = \frac{1}{\Delta R_{ms,s-q}} \quad (329)$$

Note : pour $\Delta R_{ms,s-q}$ nul, $\Delta Hg_{ms,s-q} = 0$ W/K

$$\Delta R_{ms,a-q} = R_{mas} - R_{mqs}$$
$$\Delta Hg_{ms,a-q} = \frac{1}{\Delta R_{ms,a-q}} \quad (330)$$

Note : pour $\Delta R_{ms,a-q}$ nul, $\Delta Hg_{ms,a-q} = 0$ W/K

On introduit la différence entre les capacités thermiques équivalentes, permettant par la suite d'appliquer le principe de superposition :

$$\Delta C_{m,s-q} = C_{ms} - C_{mq} \quad (331)$$

$$\Delta C_{m,a-s} = C_{ma} - C_{ms} \quad (332)$$

Par définition, $\Delta C_{m,s-q}$ et $\Delta C_{m,a-s}$ sont positives ou nulles.

5.21.3.5 *Calcul du coefficient d'échange dû au renouvellement d'air*

A chaque pas de temps, le coefficient de transfert thermique dû renouvellement d'air, Hg_{ei}, est calculé comme suit :

$$Hg_{ei}(h) = q_{m,eq}(h) \cdot \left(C_a + C_v \cdot \omega_{eq}(h)\right) \quad (333)$$

Le débit massique entrant total pour le groupe, $q_{m,eq}(h)$, est calculé comme suit :

$$q_{m,eq}(h) = \sum_j q_{ma}^j(h) \quad (334)$$

L'humidité spécifique équivalente de l'air entrant dans le groupe est la suivante :

$$\omega_{eq}(h) = \frac{\sum_j \left(Q_{ma}^j(h) \times \omega_a^j(h)\right)}{m_{eq}(h)} \quad (335)$$

Remarque : dans le cas où l'air entrant provient d'un espace tampon, on prendra l'hypothèse que l'humidité spécifique est celle de l'air extérieur.

L'enthalpie équivalente de l'air entrant dans le groupe, $h_{eq}(h)$ est calculée comme suit :

$$h_{eq}(h) = \frac{\sum_j \left(Q_{ma}^j(h) \times h_a^j(h)\right)}{m_{eq}(h)} \quad (336)$$

Avec pour chaque composant aéraulique j, l'enthalpie de l'air calculée de la manière suivante :

$$h_a^j(h) = \left(C_a + C_v \cdot \omega_a^j(h)\right) \cdot \theta_a^j(h) + H_{fg} \cdot \omega_a^j(h) \quad (337)$$

La température équivalente de l'air entrant dans le groupe est la suivante :

$$\theta_{ei,eq}(h) = \frac{h_{eq}(h) - H_{fg} \cdot \omega_{eq}(h)}{C_a + C_v \cdot \omega_{eq}(h)} \quad (338)$$

5.21.3.6 *Calcul du coefficient d'échange entre le nœud θ_m et l'extérieur*

Le coefficient de transfert thermique entre l'environnement extérieur et la surface intérieure des parois opaques, Hg_{em}, est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Hg_{emq}(h) = \frac{1}{\frac{1}{H_{TH,k+pt}(h)} - \frac{1}{Hg_{mqs}}} \quad (339)$$

Avec :

$$H_{TH,k+pt}(h) = H_{TH,pt}(h) + H_{TH,k}(h) \quad (340)$$

5.21.3.7 *Calcul du coefficient d'échange entre le nœud θ_s et l'extérieur*

Le coefficient d'échange global Hg_{es} entre le nœud θ_s et l'extérieur est égal au coefficient global de transmission thermique par les baies :

$$Hg_{es}(h) = H_{TH,b}(h) \quad (341)$$

5.21.3.8 *Calcul des températures extérieures équivalentes*

Les températures extérieures équivalentes sont calculées comme suit :

- Température extérieure équivalente vue par les baies vitrées :

$$\theta_{es}(h) = \theta_{ei}(h) + \frac{\phi_{sl}(h)}{Hg_{es}(h)} \quad (342)$$

Avec :

$$\phi_{sl}(h) = F_{s2}(h) + F_{tvc}(h) \quad (343)$$

- Température extérieure équivalente vue par les parois opaques :

$$\theta_{em}(h) = \theta_{ei}(h) + \phi_{sh}(h) \cdot \left(\frac{1}{Hg_{emq}} + \frac{1}{Hg_{mqs}}\right) \quad (344)$$

Avec :

$$\phi_{sh}(h) = \phi_{sh\_s}^{op}(h) + \phi_{sh\_vc}^{op}(h) + \phi_{sh\_s}^{pt}(h) + \phi_{sh\_vc}^{pt}(h) \quad (345)$$

5.21.3.9 *Calcul des flux de chaleur internes*

Le flux de chaleur convectif ϕ_i injecté au nœud de température θ_i comprend :

- les apports internes convectifs (occupants, usages…).
- une partie des pertes récupérables des systèmes.
- une partie du rayonnement solaire transmis par les baies sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde.
- les apports de chaleur convectifs liés à la lame d'air intérieure ventilée, située entre les vitrages et leurs protections solaires intérieurs mobiles.

Ce flux est donc la somme de l'ensemble des contributions listées ci-dessus :

$$\phi_i(h) = f_{sa} \cdot F_{s1}(h) + F_{s3}(h) + \phi_{int\_conv}(h) + \phi_{int,occ\_conv}(h) + \phi_{recup\_conv}(h) + F_{ecl\_c}(h) \quad (346)$$

Les flux de chaleur radiatif injectés respectivement aux nœuds de température θ_l et θ_m comprennent:

- une partie du rayonnement solaire transmis par les baies sous forme de rayonnement de courte longueur d'onde,
- une partie des pertes récupérables des systèmes.

Pour le nœud θ_l,:

- les flux de chaleur radiatif Φ_l atteignant les baies, qui ne comprennent pas la part courte longueur d'onde des apports solaires.

$$\phi_l(h) = f_{rl,baies} \cdot \left(\phi_{int-rad}(h) + \phi_{int,occ\_rad}(h) + \phi_{recup\_rad}(h) + F_{ecl\_r}(h)\right) \quad (347)$$

$$\phi_{mq}(h) = f_{rmd} \cdot (1 - f_{sa}) \cdot F_{s1}(h) + f_{rm} \cdot \left(\phi_{int-rad}(h) + \phi_{int,occ\_rad}(h) + \phi_{recup\_rad}(h) + F_{ecl\_r}(h)\right) \quad (348)$$

Avec :

$$f_{rl,baies} = \frac{A_{baies}}{A_{tparois}} \quad (349)$$

$$f_{rm} = \frac{A_{mq}}{A_{tparois}} \quad (350)$$

$$f_{rld} = \frac{A_{tparois} - A_{mq} - A_{baies}}{A_{tparois} - A_{baies}} \quad (351)$$

$$f_{rmd} = \frac{A_{mq}}{A_{tparois} - A_{baies}} \quad (352)$$

On note que les puissances convectives et radiatives émises par le système d'émission ne sont pas incluses dans les flux ϕ_i, ϕ_s et ϕ_m. Ces puissances sont représentées par les flux de chaleur $\phi_{sys\text{-}conv}$ et $\phi_{sys\text{-}rad}$.

5.21.3.10 *Inerties séquentielle et annuelle*

Les impacts de l'inertie sont traités par le principe de la superposition des états, légitime en thermique du fait de la forte linéarité cause – effet.

Les sollicitations du modèle sur une onde de 24h étant déjà considérées ci-dessus, les paragraphes suivants traitent de deux autres niveaux de sollicitations : sur une onde d'environ 2 semaines et sur une onde annuelle.

5.21.3.10.1 Prise en compte de l'inertie séquentielle

La prise en compte de l'inertie séquentielle par rapport à l'inertie quotidienne repose sur le principe de superposition des états. Ainsi, le calcul prend en compte :

- les effets séquentiels en utilisant le réseau RC sur un pas de temps d'une journée,
- les effets quotidiens traités en termes d'écart aux valeurs séquentielles.

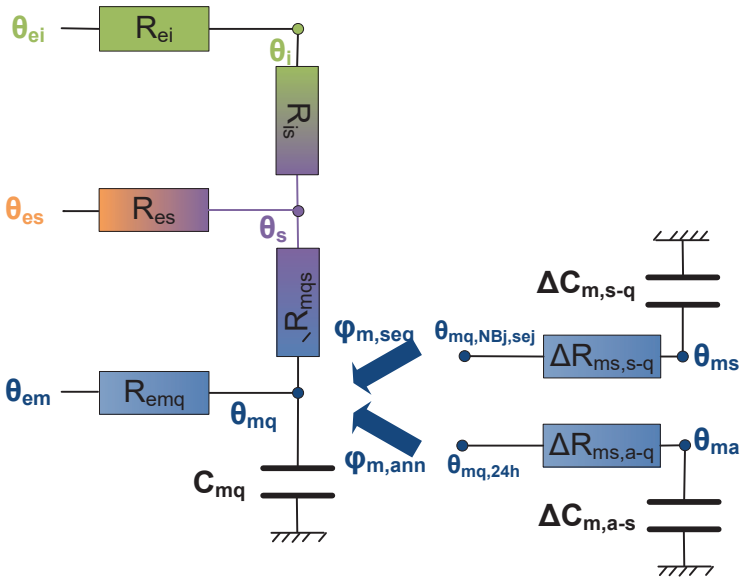


Figure 66: prise en compte des inerties séquentielle et annuelle du groupe

Soit $\theta_{mq,24h}(h)$, la moyenne des $\theta_{mq}(h)$ sur les dernières 24h de simulation :

$$\theta_{mq,24h}(h) = \frac{\sum_{t=h-1-24}^{h-1} \theta_{mq}(t)}{24} \quad (353)$$

Note : $\theta_{mq,24h}(h)$ est initialisé à 18°C pour les 24h premières heures de simulation.

La résolution du bilan thermique au nœud θ_{ms} ci-dessus est effectuée en moyenne sur 24h par utilisation d'un schéma de Crank-Nicholson :

$$\theta_{ms}(h) = \frac{\left(\frac{\Delta C_{m,s-q}}{3{,}6} - 0{,}5.\Delta Hg_{ms,s-q}\right).\theta_{ms}(h-1) + \Delta Hg_{ms,s-q}.\theta_{mq,24h}(h)}{\frac{\Delta C_{m,s-q}}{3{,}6} + 0{,}5.\Delta Hg_{ms,s-q}} \quad (354)$$

Note : au premier pas de temps de l'année, θ_{ms} sera initialisé à 18°C.

Le flux absorbé par la capacité thermique quotidienne, dont la valeur peut être négative ou positive, est calculé comme suit :

$$\phi_{mq\_seq}(h) = \Delta Hg_{ms,s-q}.\left(\theta_{ms,moy}(h) - \theta_{mq,24h}(h)\right) \quad (355)$$

Où :

$$\theta_{ms,moy}(h) = \frac{\theta_{ms}(h) + \theta_{ms}(h-1)}{2} \quad (356)$$

5.21.3.10.2 Prise en compte de l'inertie annuelle

Soit $\theta_{mq,NBjseq}(h)$, la moyenne des $\theta_{mq,NBjseq}(h)$ sur la séquence de NBj_{seq} jours précédents le pas de temps h:

$$\theta_{mq,NBjseq}(h) = \frac{\sum_{t=h-1-24.Nbj_{séq}}^{h-1} \theta_{mq}(t)}{24.Nbj_{séq}} \quad (357)$$

Note : $\theta_{mq,NBjseq}(h)$ est initialisé à 19°C pour les NBj_{seq} premiers jours de simulation.

La résolution de l'équation différentielle ci-dessus est effectuée en moyenne sur un certain nombre de jours (=$Nbj_{séq}$) par utilisation d'un schéma de Crank-Nicholson :

$$\theta_{ma}(h) = \frac{\left(\frac{\Delta C_{m,a-s}}{3{,}6} - 0{,}5.\Delta Hg_{ms,a-q}\right).\theta_{ma}(h-1) + \Delta Hg_{ms,a-q}.\theta_{mq,NBjseq}(h)}{\frac{\Delta C_{m,a-s}}{3{,}6} + 0{,}5.\Delta Hg_{ms,a-q}} \quad (358)$$

Note : au premier pas de temps de l'année, θ_{ma} sera initialisée à 18°C.

Le flux absorbé par la capacité thermique annuelle, dont la valeur peut être négative ou positive, est calculé comme suit :

$$\phi_{mq\_ann}(h) = \Delta Hg_{ms,a-q}.\left(\theta_{ma,moy}(h) - \theta_{mq,NBjseq}(h)\right) \quad (359)$$

Où :

$$\theta_{ma,moy}(h) = \frac{\theta_{ma}(h) + \theta_{ma}(h-1)}{2} \quad (360)$$

5.21.3.11 *Résolution du bilan thermique du groupe*

Pour les besoins de la résolution, le flux radiatif du nœud θ_l est directement injecté au nœud de résolution θ_l, en déduisant des flux sur la surface internes des baies la part perdue au travers de celle-ci :

$$\phi_s(h) = \left(1 - \frac{Hg_{es}}{A_{baies}.h_{is}}\right).\phi_l(h) \quad (361)$$

$$U_1(h) = \frac{1}{\frac{1}{Hg_{ei}(h)} + \frac{1}{Hg_{is}}} \quad (362)$$

$$U_2(h) = U_1(h) + Hg_{es}(h) \quad (363)$$

$$U_3(h) = \frac{1}{\frac{1}{U_2(h)} + \frac{1}{Hg_{ms}}} \quad (364)$$

A partir du bilan thermique, la température de masse θ_{mq} au pas de temps (h) est exprimée en fonction de sa valeur au pas de temps (h-1) de la manière suivante :

$$\theta_{mq}(h) = \frac{\theta_{mq}(h-1)\cdot\left(\frac{C_{mq}}{3{,}6\cdot\Delta h} - 0{,}5\cdot\left(U_3(h) + Hg_{emq}\right)\right) + \phi_{mqtot}(h) + \phi_{mig}(h) + \phi_{mq\_seq}(h) + \phi_{mq\_ann}(h)}{\frac{C_{mq}}{3{,}6\cdot\Delta h} + 0{,}5\cdot\left(U_3(h) + Hg_{emq}\right)} \quad (365)$$

Avec :

$$\phi_{mtot}(h) = \phi_{mq}(h) + \phi_{sys,rad-mq} + Hg_{emq}\cdot\theta_{em}(h) + \frac{U_3(h)}{U_2(h)}\cdot\left[\phi_s(h) + \phi_{sys,rad-s} + U_1(h)\cdot\left(\frac{\phi_i(h) + \varphi_{sys-conv}}{Hg_{ei}(h)} + \theta_{ei,eq}(h)\right)\right] \quad (366)$$

Φ_{mq_seq} et Φ_{mq_ann} sont calculés conformément au §5.21.3.10.

5.21.3.12 *Calcul des autres températures du groupe*

Les températures du nœud de résolution, de l'air et de surface des parois légères séparatives se déduisent de la température de masse obtenue précédemment :

$$\theta_s(h) = \frac{1}{Hg_{ms} + Hg_{es}(h) + U_1(h) + H_{s,ig,eq}} \times \left[Hg_{ms}\cdot\theta_{mq}(h) + Hg_{es}(h).\theta_{es}(h) + \phi_s(h) + \phi_{sys-rad-s} + U_1(h)\cdot\left(\theta_{eieq}(h) + \frac{\phi_i(h) + \phi_{sys-conv}}{Hg_{ei}(h)}\right)\right] \quad (367)$$

$$\theta_i(h) = \frac{Hg_{is}\cdot\theta_s(h) + Hg_{ei}(h)\cdot\theta_{eieq}(h) + \varphi_i(h) + \phi_{sys-conv}}{Hg_{is} + Hg_{ei}(h)} \quad (368)$$

5.21.3.13 *Température radiante moyenne et température opérative*

La température radiante moyenne θ_{rm} est calculée à partir des températures θ_s et θ_i à l'aide de l'équation suivante :

$$\theta_{rm}(h) = p_{trm}.\theta_s(h) + (1 - p_{trm}).\theta_i(h) \quad (369)$$

Où :

$$p_{trm} = 1 + \frac{h_{ci}}{h_{rs}} \quad (370)$$

La température opérative, traduisant le ressenti par les occupants, θ_{op} est calculée comme suit :

$$\theta_{op}(h) = p_{top}\cdot\theta_{rm}(h) + \left(1 - p_{top}\right)\cdot\theta_i(h) \quad (371)$$

5.21.3.14 *Matrice de comportement thermique du groupe*

La matrice de comportement thermique d'un groupe comprend les valeurs des températures θ_i, θ_s, θ_{mq}, θ_{op}.et θ_{rm} pour les trois cas suivants :

- Evolution libre : $\phi_{sys\text{-}conv}$ = 0 x A_{gr} (W), $\phi_{sys\text{-}rad}$ = 0 x A_{gr} (W).
- Puissances émises convectives : $\phi_{sys\text{-}conv}$ = 10 x A_{gr} (W), $\phi_{sys\text{-}rad}$ = 0 x A_{gr} (W).
- Puissances émises radiatives : $\phi_{sys\text{-}conv}$ = 0 x A_{gr} (W), $\phi_{sys\text{-}rad}$ = 10 x A_{gr} (W).

$\phi_{sys\text{-}conv}$ et $\phi_{sys\text{-}rad}$ sont respectivement les puissances sensibles convectives et radiatives émises par le système d'émission du groupe. $\phi_{sys\text{-}rad}$ est repartie entre les deux nœuds de température θ_s et θ_m de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \phi_{sys-rad-s} &= f_{rs} \cdot \phi_{sys-rad} \\ \phi_{sys-rad-m} &= f_{rm} \cdot \phi_{sys-rad} \end{aligned} \qquad (372)$$

Les valeurs des températures θ_i, θ_s, θ_{mq}, θ_{op} et θ_{rm} sont calculées respectivement pour :

- Cas 1 – Calcul pour la température de masse moyenne sur le pas de temps : $\theta_{mq} = \theta_{mq,moy}$. Il s'agit donc de $\theta_{i,moy}$, $\theta_{s,moy}$, $\theta_{rm,moy}$ et $\theta_{op,moy}$.
- Cas 2 – Calcul pour la température de masse à la fin du pas de temps : $\theta_{mq} = \theta_{mq}{}^{(t)} = \theta_{mq,fin}$. Il s'agit donc de $\theta_{i,fin}$. $\theta_{s,fin}$. $\theta_{rm,fin}$. $\theta_{op,fin}$.

La matrice de comportement thermique du groupe est ainsi une matrice de 5 lignes et 6 colonnes comme le montre l'équation (373).

$$\begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \overbrace{\qquad\qquad\qquad}^{\substack{\phi_{sys\text{-}conv} = 0\ (W) \\ \phi_{sys\text{-}rad} = 0\ (W)}} & & \overbrace{\qquad\qquad\qquad}^{\substack{\phi_{sys\text{-}conv} = 10\ (W) \\ \phi_{sys\text{-}rad} = 0\ (W)}} & & \overbrace{\qquad\qquad\qquad}^{\substack{\phi_{sys\text{-}conv} = 0\ (W) \\ \phi_{sys\text{-}rad} = 10\ (W)}} & \end{array} \\ \begin{bmatrix} \theta_{i,moy(0,0)} & \theta_{i,fin(0,0)} & \theta_{i,moy(10,0)} & \theta_{i,fin(10,0)} & \theta_{i,moy(0,10)} & \theta_{i,fin(0,10)} \\ \theta_{s,moy(0,0)} & \theta_{s,fin(0,0)} & \theta_{s,moy(10,0)} & \theta_{s,fin(10,0)} & \theta_{s,moy(0,10)} & \theta_{s,fin(0,10)} \\ \theta_{m,moy(0,0)} & \theta_{m,fin(0,0)} & \theta_{m,moy(10,0)} & \theta_{m,fin(10,0)} & \theta_{m,moy(0,10)} & \theta_{m,fin(0,10)} \\ \theta_{rm,moy(0,0)} & \theta_{rm,fin(0,0)} & \theta_{rm,moy(10,0)} & \theta_{rm,fin(10,0)} & \theta_{rm,moy(0,10)} & \theta_{rm,fin(0,10)} \\ \theta_{op,moy(0,0)} & \theta_{op,fin(0,0)} & \theta_{op,moy(10,0)} & \theta_{op,fin(10,0)} & \theta_{op,moy(0,10)} & \theta_{op,fin(0,10)} \end{bmatrix} \end{array} \qquad (373)$$

6. VENTILATION

On retrouve dans cette partie les éléments nécessaires au calcul des débits de ventilation :

- Au stade du PC (hypothèses de calcul des débits pour le Bbio)
- Au stade de l'achèvement des travaux (débits soufflés et rerpis par les systèmes de ventilation

Les différents systèmes de ventilation pris en compte la méthode de calcul sont également décrits (ventilation simple flux, double flux, centrales de traitement d'air type DAC ou DAV, utilisation de puits climatique ou hydraulique), ainsi que les consommations liées à la ventilation des parkings.

6.1 C_VEN_BBIO

6.1.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit le système de ventilation utilisé pour le calcul du BBIO.

Cette description repose sur la modélisation simplifiée de la norme européenne EN NF 15241.

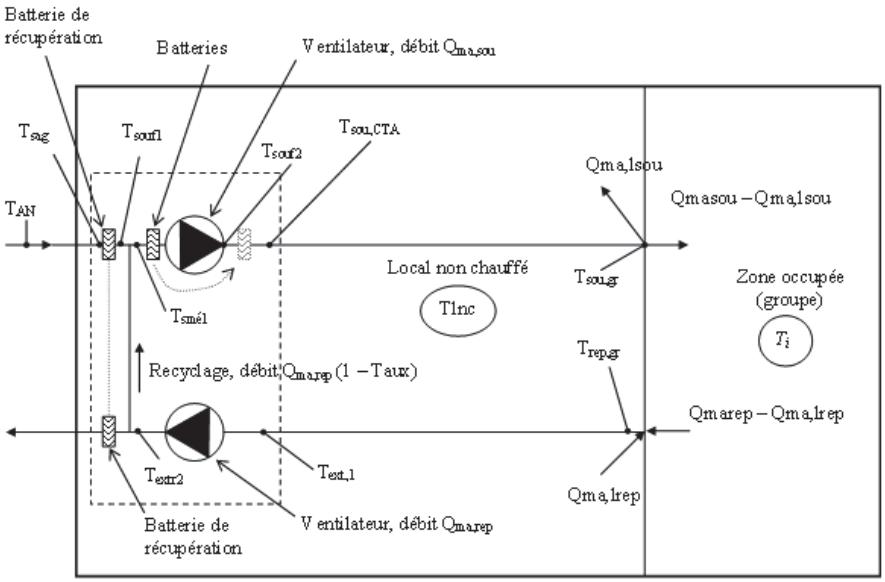


Figure 67. Modélisation de réseaux et de bouches reliés à une CTA

6.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 55 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul des débits de ventilation spécifique pour le calcul du Bbio.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe par le système *S*	m³/h
$q^{g,s}_{spec\_soufle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe par le système *S*	m³/h
$q^{g,s}_{rep,cond}$	Débit repris par le système *S* en tenant compte des conduits	m³/h
$q^{g,s}_{soufflé,cond}$	Débit soufflé par le système *S* en tenant compte des conduits	m³/h
$\theta_{i,fin}$	Température de l'air intérieur du groupe à la fin du pas de temps précédent	°C
θ_{ext}	Température extérieure au pas de temps h	°C
wext	Poids d'eau dans l'air extérieur au pas de temps h	kg/kgas
Dugd	Durée d'Utilisation du Grand Débit exprimée en h/semaine	h

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
ε	Efficacité de l'échangeur ; fixée à 0.5 pour le calcul du BBIO	ad	0	1	0.5

Paramètres intrinsèques

Constantes

Nom	Description	Unité			Conv.
Cpa	Chaleur massique de l'air	J/kg.K			1006
pel	Taux de récupération sur les ventilateurs	-	0	1	0,8

Variables internes

Nom	Description	Unité
$T^{g,s}_{extr1}$	Température de l'air repris après impact des pertes du conduit	°C
$T^{g,s}_{extr2}$	Température de l'air repris après impact du ventilateur d'extraction	°C
T_{souf1}	Température de l'air soufflé après impact de l'échangeur	°C
T_{souf2}	Température de l'air soufflé après impact du ventilateur de soufflage	°C
$Pvent_{rep}$	Puissance électrique du ventilateur de reprise	W
$Pvent_{souf}$	Puissance électrique du ventilateur de soufflage	W

$q_{m\_souff\_cond}^{s}$	Débit massique d'air repris par la Double Flux conventionnelle	kg/s

Sorties

Nom	Description	Unité
$q_{spec\_repris}^{g,s}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe par le système *S*	m^3/h
$q_{spec\_souffle}^{g,s}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe par le système *S*	m^3/h
$T_{air\_souffle}^{g}$	Température de l'air soufflé dans le groupe (en provenance de l'extérieur ou d'autres groupes)	°C
$\omega_{air\_souffle}^{g}$	Humidité de l'air soufflé dans les groupes (sortie CTA)	kg/kgas
H_{vent}	Déperditions par la ventilation	W/K

Tableau 55 : Nomenclature du modèle

6.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Pour le calcul du BBIO, le système de ventilation est une VMC à débit soufflé et extrait constant avec efficacité d'échangeur de 50 %.

6.1.3.1 ***Définition des puissances de ventilateur***

Pour le calcul du BBIO, on considère que les ventilateurs de soufflage et d'extraction sont de puissance nulle.

Ainsi, pour tous les usages, on a :

Quel que soit Ivent

$$Pvent_{rep} = 0 \quad (374)$$

Et

$$Pvent_{souf} = 0 \quad (375)$$

6.1.3.2 ***Températures de l'air extrait***

On définit dans ce paragraphe la température de l'air à la sortie du ventilateur de reprise

1. L'impact des **pertes de conduit est nul** dans le calcul du BBIO :

$$Pvent_{souf} = 0 \quad (376)$$

2. **Température après impact du ventilateur d'extraction :**

$$T_{extr2}^{g,s} = T_{extr1}^{g,s} + \frac{pel \times Pvent_{rep}}{0.34 \times abs\left(q_{rep,cond}^{g,s}\right)} \quad (377)$$

On rappelle que pour le BBIO, la puissance des ventilateurs est nul (paragraphe 6.1.3.1).

6.1.3.3 *Cas du réseau de soufflage*

1. La **température** de l'air soufflé **après impact de l'échangeur** statique est définie comme suit :

$$T_{souf1} = \theta_{ext} + \varepsilon \times (T_{extr2} - \theta_{ext}) \quad (378)$$

2. ***Température après impact du ventilateur d'extraction :***

$$T_{souf2} = T_{souf1} + \frac{pel \times Pvent_{souf}}{0.34 \times abs\left(q^{g,s}_{soufflé,cond}\right)} \quad (379)$$

On rappelle que pour le BBIO, la puissance des ventilateurs est nul (paragraphe 6.1.3.1).

Au final, la température de l'air soufflé est définit comme suit :

$$T^{g}_{Air\_soufflé} = T_{souf2} \quad (380)$$

L'humidité de l'air neuf fourni au groupe par le système de ventilation conventionnel du BBIO est définie comme suit :

$$\omega^{g}_{air\_soufflé} = \omega_{ext} \quad (381)$$

6.1.3.4 *Déperditions par la ventilation*

$$H_{vent} = q^{g,s}_{soufflé,cond} * C_{pa} * (1 - \varepsilon) \quad (382)$$

6.2 C_VEN_Bouche_conduit

6.2.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit les débits aux bouches d'extraction et aux bouches de soufflage. Elle tient aussi compte des pertes des conduits d'amenée d'air et des conduits d'extraction.

Cette description repose sur la modélisation simplifiée de la norme européenne EN NF 15241.

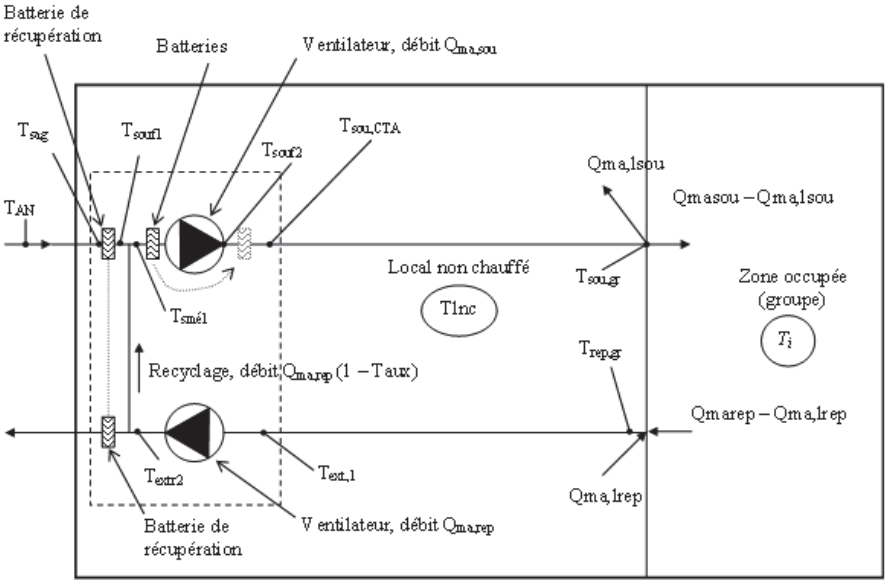


Figure 68. Modélisation de réseaux et de bouches reliées à une CTA

6.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 56 donne la nomenclature.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, et *j* le jour de simulation correspondant.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
	θ_{ext} (h)	Température extérieure au pas de temps h	°C
	$\theta_{op,fin}$(h-1)	Température opérative intérieure du groupe à la fin du pas de temps h-1.	°C
	I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
	$Id_{besoinCH\_inocc\_prev}$	Indicateur de besoin de chauffage au pas précédent en inoccupation dans un groupe relié à une CTA DAC avec recyclage ou DAV	Bool
	$Id_{besoinFR\_inoc\_prev}$	indicateur de besoin de froid au pas précédent en inoccupation dans un groupe relié à une CTA DAC avec recyclage ou DAV	Bool
	$i_{relance}(h)^{CTA}$	Indicateur de phase de relance	Ent

Paramètres d'intégration

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Usage autre que maison individuelle ou accolée ou logement collectif	$q^{g,s}_{spec,rep,occ}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en occupation pour les usages autre que maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,rep,inocc}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en inoccupation pour les usages autre que maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,soufflé,occ}$	Débit volumique spécifique conventionnel soufflé en occupation pour les usages autre que maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,soufflé,inocc}$	Débit volumique spécifique conventionnel soufflé en inoccupation pour les usages autre que maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
Usage maison individuelle ou accolée ou logement collectif	$q^{g,s}_{spec,rep,conv\_pointe}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en pointe en maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,rep,conv\_base}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en base en maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,souffle,conv\_pointe}$	Débit volumique spécifique conventionnel soufflé en pointe en maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	$q^{g,s}_{spec,souffle,conv\_base}$	Débit volumique spécifique conventionnel soufflé en base en maison individuelle ou accolée et les logements collectifs.	m^3/h	0	+∞	-
	Cletres	Classe d'étanchéité du réseau (A,B,C,D)				

Is_surf_cond_def	Type de données pour la définition des surfaces de conduits (0 utilisateur, 1 défaut)		0	1	1
Ratfuitevc	Ratio des fuites en volume chauffé	0	1		
Crdbnr	Coefficient de réduction des débits	ad	0	1	-
Cdep	Coefficient de dépassement				
Dugd	Durée d'Utilisation du Grand Débit exprimée en h/semaine	h	0	+∞	-
$A^{g,s}_{cond,rep}$	Surface du conduit de reprise	m^2	0	+∞	-
$A^{g,s}_{cond,soufflé}$	Surface du conduit de soufflage	m^2	0	+∞	-
Rrep	Résistance thermique de la partie du conduit de reprise située hors volume chauffé	m^2K/W	0	+∞	-
Rsoufflé	Résistance thermique de la partie du conduit de soufflage située hors volume chauffé	m^2K/W	-∞	+∞	-
$q^{g,s}_{soufflé,CH,\sout{occ}}$	débit de soufflage hors mode zone neutre (CTA)	m^3/h	0	+∞	-
$q^{g,s}_{soufflé,ZN,occ}$	débit de soufflage en zone neutre en occupation (CTA)	m^3/h	0	+∞	-
$q^{g,s}_{soufflé,ZN,inocc}$	débit de soufflage en zone neutre en inoccupation (CTA)	m^3/h	0	+∞	-
$Taux^{g,s}_{AN\_\min\_occ}$	Taux d'air neuf minimal à souffler en occupation en cas de recyclage	-			
$Taux^{g,s}_{AN\_\min\_inocc}$	Taux d'air neuf minimal à souffler en inoccupation en cas de recyclage	-			
$T_{typologie}$	Maison individuelle ou accolée et les logements collectifs. ou autres usages		-	-	-
Isouf	Isouf= 0 extraction Isouf = 1 insufflation	entier	0	1	-

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Ratsurfcond	Valeur conventionnelle du rapport de la surface de conduit aéraulique à la surface habitable (Shab)	Réel	0	+∞	
Ratdebcond	Valeur conventionnelle du rapport de la surface de conduit aéraulique au de débit de ventilation	Réel	0	+∞	
dP	Différence de pression	Pa			

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_{fenb}	Coefficient de la fenêtre	Réel	1.7

Variables internes

Nom	Description	Unité
$q^{g,s}_{rep,regul}$	Débit de reprise avec régulation	m^3/h
$q^{g,s}_{soufflé,regul}$	Débit soufflé avec régulation	m^3/h
$q^{g,s}_{soufflé,dep}$	Débit soufflé tenant du coefficient de dépassement de la bouche	m^3/h
$q^{g,s}_{rep,\max}$	Débit repris maximum	m^3/h

$q^{g,s}_{soufflé,\max}$	Débit soufflé maximum	m^3/h
$q^{g,s}_{rep,\min}$	Débit repris minimum	m^3/h
$q^{g,s}_{soufflé,\min}$	Débit soufflé minimum	m^3/h

Sorties

Nom	Description	Unité	
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe pour le système s	m^3/h	
$q^{g,s}_{spec\_souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe pour le système s	m^3/h	
$q^{g,s}_{repris,fuites}$	Débit repris tenant compte des fuites du réseau pour le système s	m^3/h	
$q^{g,s}_{spec,CH,repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe pour le système s en mode CH	m^3/h	
$q^{g,s}_{spec,CH,souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe pour le système s en mode CH	m^3/h	
$q^{g,s}_{spec,ZN,repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe pour le système s en mode ZN	m^3/h	
$q^{g,s}_{spec,ZN,souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe pour le système s en mode ZN	m^3/h	
$q^{g,s}_{soufflé,fuites}$	Débit soufflé tenant compte des fuites du réseau pour le système s	m^3/h	
$q^{g,s}_{repris,cond}$	Débit repris en tenant compte des conduits pour le système s	m^3/h	
$q^{g,s}_{soufflé,cond}$	Débit soufflé en tenant compte des conduits pour le système s	m^3/h	-∞
$q^{g,s}_{rep,dep}$	Débit repris tenant du coefficient de dépassement de la bouche	m^3/h	
Dugd	Durée d'Utilisation du Grand Débit exprimée en h/semaine	h	
$q^{g,s}_{rep,CH,cond}$	Débit volumique repris en tenant compte des conduits pour le système s en mode CH	m^3/h	
$q^{g,s}_{sou,CH,cond}$	Débit volumique soufflé en tenant compte des conduits pour le système s en mode CH	m^3/h	
$q^{g,s}_{rep,ZN,cond}$	Débit volumique repris en tenant compte des conduits pour le système s en mode ZN	m^3/h	
$q^{g,s}_{sou,ZN,cond}$	Débit volumique soufflé en tenant compte des conduits pour le système s en mode ZN	m^3/h	
$Taux^{g,s}_{AN\_min}$	Taux d'air neuf minimal à souffler en cas de recyclage	-	
Crdbnr	Coefficient de réduction des débits	ad	
cdep	Coefficient de dépassement		
Ratfuitevc	Ratio des fuites en volume chauffé	0	
$q^{g,s}_{soufflé,maxCH}$	Cas DAV : débit maximal de soufflage pour le préchauffage	m^3/h	
$q^{g,s}_{soufflé,min}$	Cas DAV : débit minimal de soufflage imposé dans le cas de la DAV	m^3/h	
dP	Différence de pression	Pa	
Kres	Coefficient de fuite de réseau	$m^3/(s.m^2)$ sous 1 Pa	

$A^{g,s}_{cond,rep}$	Surface du conduit de reprise	m²
$A^{g,s}_{cond,soufflé}$	Surface du conduit de soufflage	m^2

Tableau 56 : Nomenclature du modèle

6.2.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les débits volumiques sont définis au niveau du groupe.

Pour chaque bouche, on définit un débit minimal et un débit maximal soufflé ou repris.

Les débits de ventilation sont par ailleurs différents selon que la zone est occupée ou inoccupée. L'indicateur de ventilation de la zone I_{vent} est vrai quand la zone est occupée du point de vue de la ventilation et est faux sinon.

Pour le calcul du Bbio, les débits correspondent au débit d'hygiène. Pour le calcul des consommations, en résidentiel les débits sont des débits d'hygiène, alors qu'en non résidentiel ce sont des débits totaux soufflés ou extraits.

6.2.3.1 ***Définition du débit minimal et débit maximal de la bouche***

6.2.3.1.1 Cas d'une ventilation autre que CTA

Ce paragraphe traite de tous les systèmes de ventilation autre que les CTA (centrale de traitement d'air) et les systèmes double flux.

Il traite aussi de l'aération (ouverture des fenêtres) et du débit de l'assistance mécanique des systèmes de ventilation hybride (naturelle assistée).

6.2.3.1.1.1 Usages hors maison individuelle ou accolée et hors logement collectif

On définit le débit maximal d'air soufflé ou repris de la bouche comme suit :

Si Isouf = 0 (bouche-conduits de reprise) :

$$q^{g,s}_{rep,max} = -q^{g,s}_{spec,rep,occ} \quad (383)$$
$$q^{g,s}_{soufflé,max} = 0$$

Si Isouf = 1 (bouche-conduits de soufflage) :

$$q^{g,s}_{soufflé,max} = q^{g,s}_{spec,soufflé,occ} \quad (384)$$
$$q^{g,s}_{rep,max} = 0$$

On définit le débit minimal d'air soufflé ou repris de la bouche comme suit :

Si Isouf = 0 (bouche-conduits de reprise) :

$$q^{g,s}_{rep,min} = -q^{g,s}_{spec,rep,inocc} \quad (385)$$
$$q^{g,s}_{soufflé,min} = 0$$

Si Isouf = 1 (bouche-conduits de soufflage) :

$$q^{g,s}_{soufflé,min} = q^{g,s}_{spec,soufflé,inocc} \quad (386)$$
$$q^{g,s}_{rep,min} = 0$$

<u>Cas de l'Aération, ventilation naturelle par ouverture des fenêtres :</u>

Dans le cas particulier de l'aération, ventilation naturelle par ouverture des fenêtres, on fait l'hypothèse que la réglementation d'hygiène (réglementation ventilation) impose par local soit des débits à fournir (soufflage) ou des débits à extraire (débit repris). Dans le cas (exceptionnel) où cette hypothèse ne serait pas vérifiée, il conviendrait pour chaque local de prendre soit en extraction soit en fourniture le plus grand des débits (en valeur absolue) conforme à la réglementation et de mettre l'autre à 0 avant de cumuler les débits par groupe.

6.2.3.1.1.2 Usages maison individuelle ou accolée et logement collectif

On définit le débit maximal d'air soufflé ou repris de la bouche comme suit :

Si Isouf = 0

$$q^{g,s}_{rep,max} = -q^{g,s}_{spec,rep,conv\_point} \quad (387)$$
$$q^{g,s}_{soufflé,max} = 0$$

Si Isouf = 1

$$q^{g,s}_{soufflé,max} = q^{g,s}_{spec,soufflé,conv\_point} \quad (388)$$
$$q^{g,s}_{rep,max} = 0$$

On définit le débit minimal d'air soufflé ou repris de la bouche comme suit :

Si Isouf = 0

$$q^{g,s}_{rep,min} = -q^{g,s}_{spec,rep,conv\_base} \quad (389)$$
$$q^{g,s}_{soufflé,min} = 0$$

Si Isouf = 1

$$q^{g,s}_{soufflé,min} = q^{g,s}_{spec,soufflé,conv\_base} \quad (390)$$
$$q^{g,s}_{rep,min} = 0$$

Cas des systèmes hygroréglables :

Pour les systèmes hygroréglables, les débits seront calculés à partir des valeurs issues d'une procédure d'évaluation par tierce partie de l'aptitude à l'emploi du système incluant les prescriptions sur la justification de l'atteinte des performances des produits de la manière suivante (ici seuls les circuits de reprise sont détaillés, le raisonnement est le même pour les circuites de soufflage) :

Le débit de pointe est calculé à parti des débits maximum Q_{temp} fournis dans les avis techniques des bouches installées dans les pièces cuisine et WC et des débits d'hygiène des autres pièces.

Le débit de base est calculé à partir de la valeur $Qvarep_{spec}$ fournie dans l'avis technique, du débit maximum et des dugd définis au §6.2.3.2.2.2 :

$$q^{g,s}_{spec,rep,conv\_base} = \frac{168 \times Qvarep_{spec} - Dugd \times q^{g,s}_{spec,rep,conv\_pointe}}{(168 - Dugd)}$$

Note :

1. Dans le cas de la ventilation hybride, il s'agit d'indiquer les débits d'hygiènes pendant l'assistance mécanique.
2. En ventilation naturelle pure ces renseignements sont sans objet.

6.2.3.1.2 Cas des CTA

On définit le débit maximal d'air soufflé ou repris et le taux d'air neuf minimal en occupation de la bouche comme suit :

Si Isouf = 1

$$q^{g,s}_{soufflé,CH,max} = q^{g,s}_{soufflé,CH} \quad (391)$$
$$q^{g,s}_{rep,CH\,max} = 0_{Tau\ AN}$$
$$q^{g,s}_{soufflé,ZN\,max} = q^{g,s}_{soufflé,ZN,occ} \quad (392)$$
$$q^{g,s}_{rep,ZN\,max} = 0$$

$$Taux^{g,s}_{AN\_min\_occ} = \frac{q^{g,s}_{soufflé,ZN,occ}}{q^{g,s}_{soufflé,CH}} \quad (393)$$

$$q^{g,s}_{rep,ZN\,max} = 0$$

Si Isouf = 0

$$q^{g,s}_{rep,CH,max} = -q^{g,s}_{soufflé,CH} \quad (394)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,CH\,max} = 0$$

$$q^{g,s}_{rep,ZN\,max} = -q^{g,s}_{soufflé,ZN,occ} \quad (395)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,ZN\,max} = 0$$

On définit le débit minimal d'air soufflé ou repris et le taux d'air neuf minimal en occupation de la bouche comme suit :

Si Isouf = 1

$$q^{g,s}_{soufflé,ZN\,min} = q^{g,s}_{soufflé,ZN,inocc} \quad (396)$$

$$q^{g,s}_{rep,ZN\,min} = 0$$

$$Taux^{g,s}_{AN\_\min\_inocc} = \frac{q^{g,s}_{soufflé,ZN,inocc}}{q^{g,s}_{soufflé,CH}} \quad (397)$$

Si Isouf = 0

$$q^{g,s}_{rep,ZN\,min} = -q^{g,s}_{soufflé,ZN,inocc} \quad (398)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,ZN\,min} = 0$$

La CTA est employée uniquement dans le non résidentiel.

Note :

- les systèmes double flux se distinguent des CTA par le fait qu'il s'agit de systèmes tout air, assurant la ventilation à un débit hygiénique, sans dispositif de recyclage. Pour des usages autres que résidentiel, les débits soufflés (respectivement repris) en mode actif (indice CH) ou en mode zone neutre (indice ZN) en occupation doivent être identiques.

- Dans le cas des CTA à débit constant avec dispositif de recyclage, le débit soufflé en zone neutre en occupation doivent correspondre au débit hygiénique en occupation. Le débit repris en zone neutre en occupation n'est pas utilisé.

6.2.3.1.3 Cas du Bbio

On définit le débit maximal d'air soufflé ou repris de la bouche comme suit :

- Cas des usages hors maison individuelle ou accolée et hors logement collectif

On utilise les équations du §6.2.3.1.1.1

- Cas des usages maison individuelle ou accolée et logement collectif

On utilise les équations du §6.2.3.1.1.2

6.2.3.2 *Définition des débits régulés*

Ce paragraphe présente les règles de prise en compte de la régulation des terminaux de soufflage et de reprise.

Les débits nominaux des systèmes avec régulation des débits sont multipliés par un facteur correctif Crdbnr dont les valeurs par défaut sont les suivantes :

	Coefficient de réduction des débits (***Crdbnr***)
Aucune régulation des débits	1
Dispositif de détection d'utilisation du local	0,9
Dispositif de comptage d'occupants ou sondes CO_2	0,8

Tableau 57 : coefficient de réduction des débits en non résidentiel suivant le mode de régulation

Pour les systèmes hygroréglables, des valeurs différentes de Crdbnr peuvent être utilisées si elles sont issues d'un Avis Technique au sens de l'arrêté du 21 mars 2012 incluant les prescriptions sur la justification de l'atteinte des performances des produits, ou d'une procédure équivalente.

6.2.3.2.1 Cas du Bbio

Dans le cas particulier **du Bbio, Crdbnr = 1** quelle que soit l'occupation et l'usage du groupe.

Ainsi, dans le cas des usages d'habitation – maison individuelle, accolée ou logement collectif, on utilise les équations du §6.2.3.2.2.2 (avec Crdbnr = 1).

Dans les autres cas, on utilise les équations du §6.2.3.2.2.1 (avec Crdbnr = 1).

6.2.3.2.2 Cas d'une ventilation autre que la CTA

Ce paragraphe traite de tous les systèmes de ventilation autre que les CTA et les systèmes double flux.

Il traite aussi de l'aération (ouverture des fenêtres) et du débit de l'assistance mécanique des systèmes de ventilation hybride (naturelle assistée).

6.2.3.2.2.1 Usages hors maison individuelle ou accolée et hors logement collectif

- En **période d'occupation** (Ivent = vrai),

$$q^{g,s}_{rep,regul} = Crdbnr \times q^{g,s}_{rep,max} \quad (399)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,regul} = Crdbnr \times q^{g,s}_{soufflé,max} \quad (400)$$

Note : *Dans le cas particulier de l'**aération**, **Crdbnr = 1** quelle que soit l'occupation.*

- **En période d'inoccupation** (*Ivent* = faux)

Dans ce cas, **Crdbnr = 1** et les débits régulés sont définis ainsi :

$$q^{g,s}_{rep,regul} = Crdbnr \times q^{g,s}_{rep,min}$$
$$q^{g,s}_{soufflé,regul} = Crdbnr \times q^{g,s}_{soufflé,min} \quad (401)$$

6.2.3.2.2.2 Usages maison individuelle ou accolée et logement collectif

Quelle que soit l'occupation, (Ivent = vrai ou Ivent= faux), on définit **Crdbnr = 1**.

$$q^{g,s}_{rep,regul} = Crdbnr \times \frac{q^{g,s}_{rep,max} \times Dugd + q^{g,s}_{rep,min} \times (168 - Dugd)}{168}$$
$$q^{g,s}_{soufflé,regul} = Crdbnr \times \frac{q^{g,s}_{soufflé,max} \times Dugd + q^{g,s}_{soufflé,min} \times (168 - Dugd)}{168} \quad (402)$$

Avec Dugd comme suit :

		Durée d'Utilisation du Grand Débit (Dugd) exprimée en h/semaine
Ventilation mécanique	Dispositifs à gestion manuelle (par défaut)	14
	Dispositifs avec temporisation	7
Ventilation naturelle par conduit et ventilation hybride	Maison Individuelle	14
	Logement Collectif	28
Mode BBIO		14

Tableau 58 : Durée d'Utilisation du Grand Débit

$$q_{rep,regul}^{g,s} = Crdbnr \times \left(q_{rep,max}^{g,s} \times CTRL_{vent,granddebit}(\square) + q_{rep,min}^{g,s} \times \left(1 - CTRL_{vent,granddebit}(\square)\right)\right) \quad (403)$$

$$q_{soufflé,régul}^{g,s} = Crdbnr \times \left(q_{soufflé,max}^{g,s} \times CTRL_{vent,granddebit}(\square) + q_{soufflé,min}^{g,s} \times \left(1 - CTRL_{vent,granddebit}(\square)\right)\right) \quad (404)$$

Note :

1. *Pour le calcul du **BBIO,** Dugd = 14.*

2. *En ventilation naturelle et en ventilation hybride où l'assistance mécanique n'est pas activée, le débit régulé $q_{rep,regul}^{g,s}$ est un résultat de calcul.*

3. *Pour les bouches dont le fonctionnement n'est pas indépendant (cas par exemple d'un dispositif local commandant le passage en grand débit de toutes les bouches d'un même logement), on considère par défaut que le passage en grand débit se fait de manière non concomitante et on applique donc pour chacune des bouches le temps de fonctionnement correspondant à l'ensemble des bouches munies d'un dispositif de gestion. A titre d'exemple, si un logement est muni d'un dispositif central de passage en grand débit et qu'il est commandé par un dispositif manuel en cuisine et dans une salle de bains, le temps total de fonctionnement en grand débit sera de 14 h + 14 h = 28 h. On appliquera donc cette durée et pour la cuisine et pour la salle de bains. Ces systèmes peuvent également faire l'objet d'un Avis Technique au sens de l'arrêté du 21 mars 2012, ou d'une procédure équivalente, précisant les règles de calcul à appliquer.*

4. *Pour les systèmes hygroréglables, le débit régulé correspond au débit énergétique équivalent calculé à partir des valeurs issues d'une procédure d'évaluation par tierce partie de l'aptitude à l'emploi du système incluant les prescriptions sur la justification de l'atteinte des performances des produits.*

6.2.3.2.3 Cas des CTA

1. ($is_{vent}(h) = 1$)

En présence d'un système avec recyclage de l'air, comme les CTA avec recyclage, **Crdbnr=1.** Les débits régulés sont définis ainsi :

$$q_{rep,CH,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{rep,CH,max}^{g,s}$$
$$q_{soufflé,CH,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{soufflé,CH,max}^{g,s} \quad (405)$$

Et

$$q_{repZN,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{rep,ZN,max}^{g,s}$$
$$q_{soufflé,ZN,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{soufflé,ZN,max}^{g,s} \quad (406)$$

Et

$$taux_{AN\_min}^{g,s} = taux_{AN\_\min\_occ}^{g,s} \quad (407)$$

- Sinon :

Dans ce cas, **Crdbnr = 1** et les débits régulés sont définis ainsi

$$q_{repZN,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{rep,ZN,min}^{g,s}$$
$$q_{soufflé,ZN,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{soufflé,ZN,min}^{g,s} \quad (408)$$

Et

$$q_{rep,CH,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{rep,CH,max}^{g,s}$$
$$q_{soufflé,CH,regul}^{g,s} = Crdbnr \times q_{soufflé,CH,max}^{g,s} \quad (409)$$

Et

$$taux_{AN\_min}^{g,s} = taux_{AN\_\min\_inocc}^{g,s} \quad (410)$$

6.2.3.3 *Coefficient Cdep*

Le coefficient de dépassement Cdep est un facteur multiplicatif visant à prendre en compte les contraintes de dimensionnement de l'installation de ventilation et la dispersion des caractéristiques de composants.

	Valeurs de Cdep
Valeur par défaut	1,30
Composants auto réglables certifiés	1,15
Composants hygroréglables certifiés et visés dans une procédure d'évaluation par tierce partie de l'aptitude à l'emploi du système	Cdep issu de l'évaluation

Tableau 59 : Valeurs de C_{dep} à considérer

6.2.3.3.1 Cas d'une ventilation autre que la CTA

On intègre également l'impact du coefficient de dépassement.

$$q^{g,s}_{rep,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{rep,regul} \quad (411)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{soufflé,regul} \quad (412)$$

Ce paragraphe traite de tous les systèmes de ventilation autre que les CTA et double flux. Il traite aussi de l'aération (ouverture des fenêtres) et du débit de l'assistance mécanique des systèmes de ventilation hybride (naturelle assistée).

Cas particuliers :

1. Dans le cas de l'**aération, Cdep =C_{fenb}** quelle que soit l'occupation.
2. Pour le calcul conventionnel du **BBIO**, on utilise :

$$Cdep_{BBio} = 1 \quad (413)$$

6.2.3.3.2 Cas des CTA

On intègre également l'impact du coefficient de dépassement.

$$q^{g,s}_{rep,CH,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{rep,CH,regul} \quad (414)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,CH,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{soufflé,CH,regul} \quad (415)$$

$$q^{g,s}_{rep,ZN,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{rep,ZN,regul} \quad (416)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,ZN,dep} = Cdep \times q^{g,s}_{soufflé,ZN,regul} \quad (417)$$

6.2.3.4 *Prise en compte des fuites des réseaux*

On présente dans ce paragraphe le mode de prise en compte des fuites dans les réseaux aérauliques, principalement entre les ventilateurs et le volume chauffé (voir figure 1).

Les fuites totales sont les suivantes :

$$q^{g,s}_{repris,fuites} = -3600 \times Kres \times A^{g,s}_{cond,rep} \times dP^{0.667} \quad (418)$$

Et/ou

$$q^{g,s}_{soufflé,fuites} = 3600 \times Kres \times A^{g,s}_{cond,soufflé} \times dP^{0.667} \quad (419)$$

Kres est fonction de la classe d'étanchéité du réseau :

Classe d'étanchéité du réseau Cletres	Kres ($m^3/(s.m^2)$ sous 1 Pa)
A	0,027 10^{-3}
B	0,009 10^{-3}
C	0,003 10^{-3}
Valeur par défaut DEF	0,0675 10^{-3}
Cas de l'***aération*** et du ***BBio***	0

Tableau 60 : Valeurs conventionnelles de Kres

Les valeurs de la différence de pression dP sont définies comme suit :

- Si $q_{rep,dep}^{g,s} = 0$; alors $dP = 0$ pour le calcul de $q_{rep,fuites}^{g,s}$
- Si $q_{souf,dep}^{g,s} = 0$; alors $dP = 0$ pour le calcul de $q_{souf,fuites}^{g,s}$
- Si non, les valeurs dP sont présentées dans le Tableau 61

La surface externe des conduits peut être soit fournie par l'utilisateur[6], soit fournie par défaut. Ainsi,

- si Is_surf_cond_def = 0 (valeur utilisateur), l'utilisateur fourni la surface externe totale $A_{condrep}$ (ou $A_{cond,souffle}$) et le ratio de fuite en volume chauffé Ratfuitevc des réseaux aérauliques de l'objet bouche_conduit concerné.

- Si Is_surf_cond_def = 1 (valeur par défaut), les surfaces des réseaux aérauliques sont calculées par :

  - En Maison Individuelle

$$A_{cond}^{g,s} = SHAB \times Ratsurfcond \quad (420)$$

Dans le cas de systèmes doubles flux, la surface de conduite par défaut est appliquée au(x) conduit(s) de reprise et au(x) conduit(s) de soufflage :

$$A_{cond,rep}^{g,s} = A_{cond}^{g,s} \quad (421)$$

Et

$$A_{cond,soufflé}^{g,s} = A_{cond}^{g,s} \quad (422)$$

Note : *lorsque plusieurs bouches/conduit d'un même circuit (reprise/soufflage) sont définies pour un même groupe, la surface de chaque conduit est calculée au prorata de son débit de base.*

  - En non résidentiel ou en bâtiment collectif :

<u>Cas d'une ventilation autre que la CTA</u>

$$A_{cond,rep}^{g,s} = abs\left(q_{rep,max}^{g,s}\right) \times Ratdebcond \quad (423)$$

Et/ou

$$A_{cond,soufflé}^{g,s} = q_{soufflé,max}^{g,s} \times Ratdebcond \quad (424)$$

<u>Cas d'une CTA:</u>

$$A_{cond,rep}^{g,s} = abs\left(q_{rep,CH,max}^{g,s}\right) \times Ratdebcond \quad (425)$$

Et/ou

$$A_{cond,soufflé}^{g,s} = q_{soufflé,CH,max}^{g,s} \times Ratdebcond \quad (426)$$

Les valeurs des ratios par défaut sont présentées dans le Tableau 61.

[6]En Maison individuelle, cette possibilité est conditionnée à la réalisation d'un test d'étanchéité à la reception

	Ratfuitevc	Ratsurfcond	Ratdebcond	dP en Haute Pression	dP en Basse Pression
	Ratio de part de conduit en volume chauffé	(m^2 par m^2 de SHAB)	m^2 par m^3/h	Pa	Pa
	Par défaut	conventionnel	conventionnel	conventionnel	conventionnel
Maison individuelle	0.25	0.05		80	20
Bâtiment collectif	0.5		0.05	160	20
Bâtiment non-résidentiel	0.75		0.05	250	

Tableau 61 : Valeurs des paramètres Ratfuitevc, Ratsurfcond et Ratdebcond

Les systèmes « Haute pression » regroupent les systèmes mécaniques simple flux (extraction et insufflation), les systèmes double flux, les CTA DAC et les CTA DAV.

Les systèmes « basse pression » sont les systèmes de ventilation naturelle par conduit et la ventilation hybride.

Au final :

Cas d'une ventilation autre que la CTA

$$q^{g,s}_{spec\_repris} = q^{g,s}_{rep,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{repris,fuites} \quad (427)$$

$$q^{g,s}_{spec\_soufflé} = q^{g,s}_{soufflé,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{soufflé,fuite} \quad (428)$$

Et les débits volumiques repris ou soufflés après prise en compte de la totalité des conduits (Débits vu par le ventilateur, à utiliser pour le dimensionnement) sont :

$$q^{g,s}_{repris,cond} = q^{g,s}_{rep,dep} + q^{g,s}_{repris,fuites} \quad (429)$$

$$q^{g,s}_{soufflé,cond} = q^{g,s}_{soufflé,dep} + q^{g,s}_{soufflé,fuite} \quad (430)$$

Note :

En ventilation naturelle et dans le cas d'une ventilation hybride où l'assistance mécanique n'est pas activée, les débits ci-dessus définis sont calculés par les fiches correspondantes.

Cas d'une CTA:

$$q^{g,s}_{spec,CH,repris} = q^{g,s}_{rep,CH,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{repris,fuites} \quad (431)$$

$$q^{g,s}_{spec,CHsoufflé} = q^{g,s}_{soufflé,CH,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{soufflé,fuites} \quad (432)$$

$$q^{g,s}_{spec,ZN,repris} = q^{g,s}_{rep,ZN,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{repris,fuites} \quad (433)$$

$$q^{g,s}_{spec,ZN,soufflé} = q^{g,s}_{soufflé,ZN,dep} + Ratfuitevc \times q^{g,s}_{soufflé,fuites} \quad (434)$$

Et les débits volumiques repris ou soufflés après prise en compte de la totalité des conduits (Débits vu par le ventilateur, à utiliser pour le dimensionnement) sont :

$$q^{g,s}_{rep,CH,cond} = q^{g,s}_{rep,CH,dep} + q^{g,s}_{repris,fuites} \quad (435)$$

$$q^{g,s}_{sou,CH,cond} = q^{g,s}_{soufflé,CH,dep} + q^{g,s}_{soufflé,fuites} \quad (436)$$

$$q_{rep,ZN,cond}^{g,s} = q_{rep,ZN,dep}^{g,s} + q_{repris,fuites}^{g,s} \quad (437)$$

$$q_{sou,ZN,cond}^{g,s} = q_{soufflé,ZN,dep}^{g,s} + q_{soufflé,fuites}^{g,s} \quad (438)$$

6.3 C_VEN_ CTA et Double_flux

6.3.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme traite des systèmes de ventilation mécanique double flux. Elle décrit à la fois la VMC Double flux (fonctionnement aux débits hygiéniques sans recyclage) et les centrales de traitement d'air double flux à débit soufflé et extrait constant (CTA DAC) ou variables (CTA DAV), régulés ou non sur la charge thermique du local.

Ces systèmes ne sont pris en compte que dans les modes de calcul Th-C et Th-DC.

On peut remarquer que contrairement aux centrales double flux (VMC DF) qui n'assurent que le prétraitement et la fourniture de l'air hygiénique, les centrales sont aussi utilisées pour le traitement thermique des locaux.

Cette fiche algorithme décrit le calcul des températures, de l'humidité de l'air repris et soufflé ainsi que les puissances des auxiliaires. Elle décrit aussi l'impact énergétique des ventilateurs et leurs modes de gestions.

Cette description repose sur la modélisation simplifiée d'un système de ventilation décrite en Figure 67 et basé sur la norme européenne EN NF 15241.

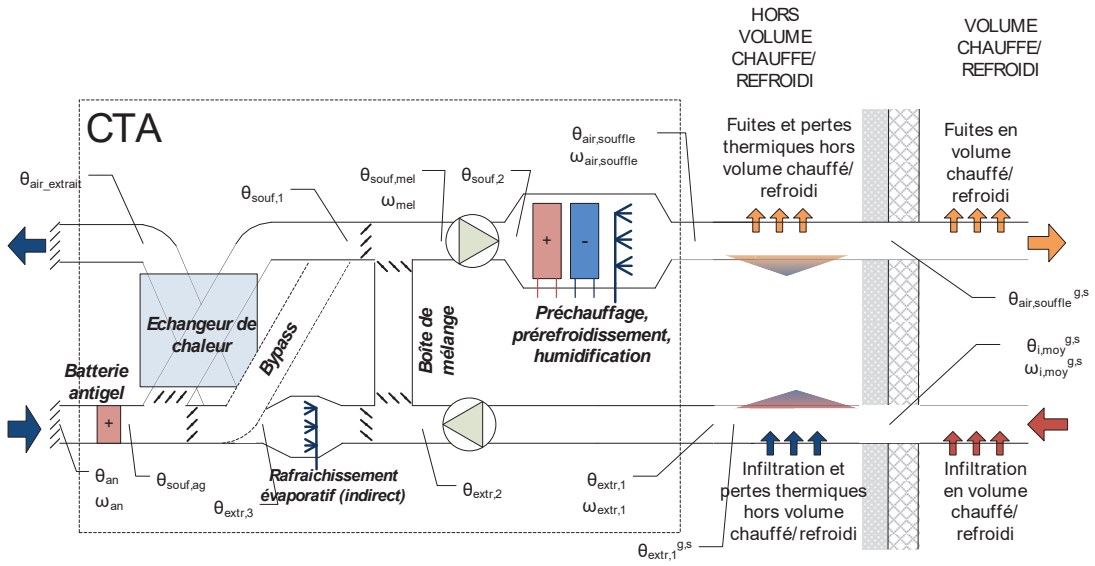


Figure 69. Modélisation d'une centrale de traitement d'air mono-gaine à débit d'air constant

6.3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 62 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche. Dans toute la suite du document, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Environnement extérieur	θ_{ext} *(h)*	Température extérieure au pas de temps h	°C
	ω_{ext} *(h)*	Humidité spécifique extérieure au pas de temps h	kg/kgas
	b^{et} *(h)*	Coefficient b thermique de l'espace tampon pour la prise en compte des déperditions par les conduits aérauliques hors volume chauffé.	Réel
Environnement intérieur	$is_{vent}(h)$	Indicateurs d'occupation au sens de la ventilation (scénarios) : *1 : locaux occupés au sens de la ventilation*	-
	$i_{relance}(h)$	Indicateur de phase de relance de la centrale : *0 : hors période de relance* *1 : période de relance*	Bool
	$Aut_{fr,pro}^{g,s}(j)$	Indicateur de saison propre de refroidissement de chaque bouche-conduit g,s relié à la centrale de ventilation *0 : hors saison de refroidissement* *1 : en saison de refroidissement*	Bool
	$Aut_{ch,eff}(j)$	Indicateur de saison de chauffage effective de la CTA. *0 : hors saison de chauffage* *1 : en saison de chauffage.*	Bool
	$Aut_{fr,eff}(j)$	Indicateur de saison de refroidissement effective de la CTA. *0 : hors saison de refroidissement* *1 : en saison de refroidissement*	Bool
	$Is\_{climatise}^{gr}$	Indicateur de groupe climatisé pour chaque groupe relié à la centrale : 0 : non-climatisé 1 : climatisé	Bool
Groupe	$\theta_{i,fin}^{g.}(h\text{-}1)$	Température de l'air intérieur du groupe à la fin du pas de temps précédent	°C
	$\omega_{i,fin}^{gr}h\text{-}1)$	Humidité absolue de l'air intérieur du groupe *gr* à la fin du pas de temps précédent	kg/kgas
	$\rho_{i,fin}^{g}(h\text{-}1)$	Masse volumique de l'air intérieur du groupe *gr* à la fin du pas de temps précédent	kg/m^3
	$is_{besoin\_ch}^{gr}(h\text{-}1)$ $is_{besoin\_fr}^{gr}(h\text{-}1)$	Indicateurs de besoins de chauffage et de refroidissement au pas de temps	-
	$is_{report\_ch}^{g}(h\text{-}1)$ $is_{report\_fr}^{g}(h\text{-}1)$	Indicateur spécifiant si une génération de chauffage/refroidissement reliée au groupe était en situation de report d'énergie au pas de temps h-1	-
	$q_{rep,cond}^{g,s}$ $q_{sou,cond}^{g,s}$	Débit volumique repris et soufflé par le composant bouches-conduits g,s en ajoutant les fuites aérauliques aux débits spécifiques (cas des systmes double flux)	m^3/h

Puits climatique et hydraulique	$q_{rep,rafnoc\_cond}^{g,s}$ $q_{sou,\ rafnoc\_cond}^{g,s}$	Débit volumique repris et soufflé en surventilation mecanique par le composant bouches-conduits g,s en ajoutant les fuites aérauliques aux débits spécifiques	m^3/h
	$q_{rep,\ ZN\_cond}^{g,s}$ $q_{sou\ ZN\_,cond}^{g,s}$	Débit volumique repris et soufflé en zone neutre par le composant bouches-conduits g,s en ajoutant les fuites aérauliques aux débits spécifiques (cas des CTA)	m^3/h
	$q_{rep,CH\_cond}^{g,s}$ $q_{sou,CH\_cond}^{g,s}$	Débit volumique repris et soufflé en mode actif par le composant bouches-conduits g,s en ajoutant les fuites aérauliques aux débits spécifiques (cas des CTA)	m^3/h
	$q_{rep,fuite,hvc}^{g,s}$ $q_{sou,fuite,hvc}^{g,s}$	Débit volumique de fuite hors volume chauffé repris et soufflé par le composant bouches-conduits g,s	m^3/h
	$Taux_{AN\_min}^{g,s}$	Taux d'air neuf minimal en présence de recyclage soufflé par le composant bouches-conduits g,s	-
	$Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)$ $Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)$	Demandes en énergie de chauffage et de refroidissement transmises par l'émetteur contenu dans le composant bouches-conduits *g,s* à son réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
	$\theta_{air,out}^{pc}(h)$	Température en sortie du puits climatique au pas de temps h	°C
	$\theta_{eau,out}^{PH}(h)$	Température de l'eau glycolée après passage dans le puits hydraulique	°C
	$Q^{PH}(h)$	Débit de l'eau glycolée dans le puits hydraulique au pas de temps h *(Puits hydraulique)*	m^3/h
	$W_{elec(rec)}^{PH,S}(h)$	Quantité d'énergie absorbée par la pompe du puits hydraulique au pas de temps h	Wh

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max
Bouches-conduits	$A_{cond,rep}^{g,s}$ $A_{cond,souf}^{g,s}$	Surface d'enveloppe des conduits de reprise et de soufflage du composant bouches-conduits g,s	m^2	0	+∞
	$R_{rep}^{g,s}$ $R_{sou}^{g,s}$	Résistance thermique de la partie des réseaux de reprise et de soufflage située hors volume chauffé du composant bouches-conduits g,s	m^2K/W	0	+∞
	$Dugd^{g,s}$	Durée d'utilisation du grand débit au niveau de la bouche/conduit g,s par semaine type.	h/sem	0	168
Ventilateurs	$P_{vent,base,rep}$ $P_{vent,base,sou}$ $P_{vent\ pointe,rep}$ $P_{vent\ pointe,sou}$	Centrale double flux en usage d'habitation : Puissances électriques des ventilateurs sur l'air repris et soufflé en débit de base et débit de pointe	W	0	+∞

	$P_{vent,rep,occ}$ $P_{vent,sou,occ}$ $P_{vent,rep,in}$ $P_{vent,inocc,sou}$	Centrale double flux en usage autre que d'habitation : Puissances électriques des ventilateurs sur l'air repris et soufflé, en occupation et inoccupation	W	0	+∞	-
	$P_{vent,rep,CH}$ $P_{vent,sou,CH}$ $P_{vent,rep,ZN\ occ}$ $P_{vent,sou,ZN\ occ}$ $P_{vent,rep,ZN\ inocc}$ $P_{vent,sou,ZN\ inocc}$	CTA (tous types confondus) Puissances électriques des ventilateurs sur l'air repris et soufflé, en mode actif (nominal) et en zone neutre en occupation et inoccupation				
	$Id\_puits\_climatique$	Index unique du puits climatique auquel est raccordé la centrale. *Si 0, pas de raccordement.*	Ent	0	+∞	-
	$Id\_puits\_hydraulique$	Index unique du puits hydraulique auquel est raccordé la centrale. *Si 0, pas de raccordement.*	Ent	0	+∞	-
Régulation bypass	$\theta_{ext,bypass,hiver}$ $\theta_{ext,bypass,été}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle l'échangeur peut être bypassé en période de chauffage et le reste de l'année.	°C	-□	+□	
	$\theta_{int,bypass,hiver}$ $\theta_{int,bypass,été}$	Température intérieure de consigne au-dessus de laquelle l'échangeur peut être bypassé en période de chauffage et le reste de l'année.	°C	-□	+□	
Régulation du taux d'air neuf	θ_{ENC} θ_{ENF}	Plage de température de fonctionnement de la centrale en tout air neuf.	°C	-□	+□	
	$Type\_régul\_AN$	Type de régulation du taux d'air neuf *0) régulation standard* *1) régulation optimisée*	-	0	1	-
Humidification d'hiver	Is_ChaudHR	Présence d'un humidificateur d'hiver : *0 : non* *1 : oui*	Bool	0	1	
	$Type_{Humidification}$	Type d'humidificateur d'hiver: *1 : à vapeur* *2 : pulvérisation, ruissellement ou évaporation*	Entier	1	2	
	η_{hum}	Efficacité de l'humidificateur à pulvérisation, ruissellement ou évaporation en %	%	0	1	0,8
	ω_{cons}	Humidité spécifique de consigne pour l'humidificateur d'hiver	kg/kgas	0	1	-
Régulation du préchauffage et du prérefroidissement de l'air	$Is\_prechaud$	Présence d'une batterie de préchauffage régulée en fonction de la température d'air neuf	Bool	0	1	-
	$Is\_prefroid$	Présence d'une batterie de prérefroidissement régulée en fonction de la température d'air neuf	Bool	0	1	-
	$\theta_{cons\_prechaud}$	Température de consigne de soufflage pour la fonction préchauffage	°C	0	+□	-
	$\theta_{cons\_prefroid}$	Température de consignede soufflage pour la fonction prérefroidissement	°C	0	+□	-

	$\theta_{ex\_prechaud}$	Température extérieure au dessus de laquelle le préchauffage n'est pas autorisé	°C	-□	+□	-
	$\theta_{ex\_prefroid}$	Température extérieure au dessous de laquelle le prérefroidissement n'est pas autorisé	°C	-□	+□	-
	$\theta_{dim,fr}$	Température nominale moyenne du fluide à l'intérieur de la batterie de prérefroidissement	°C	0	+∞	
	$Is_{\_chaud}$	Présence d'une batterie de chauffage régulée en fonction de la charge thermique	Bool	0	1	-
	$Is_{\_froid}$	Présence d'une batterie de refroidissement régulée en fonction de la charge	Bool	0	1	-
	$Type_{\_humidification\_Eté}$	Présence et type de rafraichissement évaporatif : *0 : pas d'humidificateur d'été* *1 : humidificateur direct* *0 : humidificateur indirect*	Ent	0	2	
	θ_{i_base} $\Delta\theta i1$ $\Delta\theta i2$	Paramètres de régulation du profil à hystérésis pour le rafraichissement évaporatif	°C	0	+□	-

Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Description de l'échangeur statique	$id_{niveau\_detail\_echangeur}$	Nature de la représentation de l'échangeur : *0 : représentation simplifiée* *1 : représentation détaillée*	-	0	1	
	$id_{statut\_echangeur}$	Statut de l'efficacité d'échangeur définie par l'utilisateur en mode ventilation seule. *0 : Valeur déclarée par le fabricant (par défaut),* *1 : Valeur justifiée,* *2 : Valeur certifiée*	Ent	0	2	
	ε_{saisi}	Efficacité de l'échangeur pour une représentation simplifiée en mode ventilation seule	-	0	1	
	$UA_{\_saisi}$	Coefficient d'échange global de l'échangeur pour une représentation détaillée	W/K	0	+∞	
	$id_{type\_echangeur}$	Nature de l'échangeur: *1 : écoulements à contre-courant* *2 : écoulements à courants parallèles* *3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés*	-	1	3	
	is_{bypass}	Bypass de l'échangeur : *0 : absence,* *1 : présence.*	-	0	1	
	P_{ech}	Puissance de l'échangeur (échangeurs à roue)	W	0	+∞	
	$is_{antigel}$	Sécurité antigel de l'échangeur : *0 : absence d'antigel,* *1 : présence d'un antigel.*	-	0	1	

	$\theta_{s,ech,rep,LIM}$	Température limite basse de sortie coté rejet de l'échangeur (fonction antigel)	°C	-10	10	
	$Type\_{eff\_echangeur\_PH}$	Type de valeur choisi pour définir l'efficacité de la batterie du puits hydraulique : 0. Valeur par défaut 1. Valeur saisie par l'utilisateur	-	0	1	-
	$Type\_{Surventilation\_PH}$	Présence d'une fonction de surventilation d'été associée au puits hydraulique : *0 : Pas de surventilation,* *1 : Surventilation d'été synchronisée avec le fonctionnement du puits hydraulique*	-	0	1	-
	P_{ch}	Puissance de la batterie du puits hydraulique en mode préchauffage pour un air neuf à -10°C et une température d'eau entrant dans la batterie de 10°C, aux débits nominaux d'air et d'eau.	kW	0	+ ∞	
	P_{fr}	Puissance de la batterie du puits hydraulique en mode prérefroidissement pour un air neuf à 30°C et une température d'eau entrant dans la batterie de 10°C, aux débits nominaux d'air et d'eau du projet.	kW	0	+ ∞	
Katrachissement adiabatique	η_{hum_indir}	Rendement de l'humidificateur indirect	-	0	1	0.8
	η_{hum_dir}	Rendement de l'humidificateur direct	-	0	1	0.8

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta_{air\_soufflé}^{g,s}(h)$	Température de l'air soufflé pour le composant bouches-conduits *g,s*.	°C
$\omega_{air\_soufflé}^{g,s}(h)$	Humidité de l'air soufflé	kg/kgas
$\rho_{air\_soufflé}^{g,s}(h)$	Masse volumique de l'air soufflé	kg/m^3
$W_{vent}(h)$	Consommation électrique des ventilateurs du système	Wh
$W_{aux\_chaudHR}(h)$	Consommation électrique de la pompe de l'humidificateur d'hiver	Wh
$W_{aux\_adiab}(h)$	Consommation électrique de la pompe de l'humidificateur d'été	Wh
$W_{aux\_v}^{gr}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires de ventilation au niveau du groupe	Wh
$Taux_{AN}(h)$	Taux d'air neuf du système au pas de temps h.	
$W_{ech}(h)$	Consommations électriques liées à l'échangeur (échangeur à roue).	Wh

$Q_{prefroid}(h)$	Besoin d'énergie en prérefroidissement au pas de temps h	Wh
$Q_{prechaud}(h)$	Quantité d'énergie à fournir pour le préchauffage de l'air au pas de temps h	Wh
$Q_{froid(rec)}(h)$	Quantité d'énergie recalculée requise par la centrale pour couvrir le besoin de froid au pas de temps h	Wh
$Q_{chaud(rec)}(h)$	Quantité d'énergie recalculée requise par la centrale pour couvrir le besoin de froid au pas de temps h	Wh
$Q_{HR}(h)$	Quantité d'énergie à fournir pour l'humidification de l'air (à vapeur) au pas de temps h	Wh
$Q_{ag}(h)$	Quantité d'énergie à fournir pour la fonction antigel	Wh
$q_{m,air\_extrait}(h)$	Débit d'air rejeté par la centrale, débit utilisé pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	kg/s
$\theta_{air\_extrait}(h)$	Température de l'air rejeté par la centrale, température utilisée pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité
Aut_adiab	Indicateur d'autorisation de la fonction de rafraichissement adiabatique 0 : pas de rafraîchissement adiabatique possible 1 : rafraichissement adiabatique autorisé	
$A_{cond,rep,ext}^{g,s}$ $A_{cond,souf,ext}^{g,s}$	Surface d'enveloppe des conduits de reprise et de soufflage hors volume chauffé du composant bouches-conduits g,s	m^2
$H_{cond,rep,ext}^{g,s}$ $H_{cond,souf,ext}^{g,s}$	Conductivité thermique du conduit de reprise et de soufflage sur leur partie hors volume chauffé	W/K
$q_{m\text{-}AN\_nom\_occ\_cond}$	Débit massique nominal total d'air neuf des centrales de ventilation connectées au puits hydraulique en période d'occupation (incluant les débits de fuite réseau et le coefficient de dépassement des bouches)	kg/s
$q_{m\_sou\_rafnoc\_cond}$	Débit massique d'air neuf total des centrales de ventilation connectées au puits hydraulique en période de surventilation (incluant les débits de fuite réseau et le coefficient de dépassement des bouches)	kg/s
$q_{m,eau,été}^{pompe}$	Débit massique d'eau fourni par l'humidificateur d'été	kg/s
$q_{m,eau,hiver}^{pompe}$	Débit massique d'eau fourni par l'humidificateur d'hiver	kg/s
$Aut_{ch,}(j)$ $Aut_{fr,}(j)$	Indicateur de saison de chauffage et de refroidissement internes à la centrale de ventilation	Bool
$\theta_{i,moy}^{g}$	Température moyenne barycentrique des groupes connectés à la centrale	
$\theta_{lnc}^{g,s}(h)$	Température de local non-chauffé pour le	°C

		calcul des fuites et pertes des conduits aérauliques.	
	$BP(h)$	Facteur de bypass équivalent de la batterie ou évaporateur froid (pour le calcul de la déshumidification)	-
	$P_{zn}(h)$	Déperdition (ou apport) thermique par la centrale en mode zone neutre au pas de temps h.	W
	$P_{sys\_CH/FR\_max}(h)$	Puissance maximale en chaud ou froid que peut fournir la centrale aux bouches (basée sur la température et le débit nominal).	W
	$T_{CH/FR}(h)$	Taux de charge équivalent de la centrale.	W
	$Qsys,ch$ $Qsys,fr$	Demande en energie de chauffage ou refroidissement pour la centrale au pas de temps h	Wh
	$Q_{sys\_lat\_fr}$	Quantité d'énergie latente à fournir suite au refroidissement de l'air	Wh
	$i_{rafinocc\_activé}\ (h)$	Statut effectif du rafraichissement par surventilation mécanique : *0 : désactivé,* *1 : activé.*	Ent
	$\theta_{sou,bouches}(h)$	Température d'air soufflé requise en moyenne sur l'ensemble des bouches	°C
	$\theta_{batt}(h)$	Température de batterie froide ou de l'évaporateur pour la prise en compte de la déshumidification.	°C
	$\theta_{i,cond}^{g,s}\ (h)$	Température de l'air repris en prenant en compte les fuites aérauliques hors volume chauffé du composant bouches-conduits *g,s*	°C
	$\theta_{extr1}^{g,s}\ (h)$	Température de l'air repris après impact des pertes du conduit pour le composant bouches-conduits *g,s*	°C
	$\theta_{extr1}\ (h)$	Température de l'air repris après impact des pertes des conduits au niveau de la centrale	°C
	$\theta_{extr2}\ (h)$	Température de l'air repris après impact du ventilateur d'extraction de la centrale	°C
	$\theta_{extr3}\ (h)$	Température de l'air repris après impact de l'échangeur statique de la centrale	
Propriétés des fluides	$\theta_{an}(h)$	Température de l'air neuf vu par la centrale	°C
	$\theta_{souf\_ag}(h)$	Température de l'air soufflé après passage dans la batterie antigel	°C
	$\theta e_{ech,min}(h)$	Température d'air neuf minimale permettant d'éviter le gel dans l'échangeur	°C
	$\theta_{souf\_prechaud}(h)$	Température en sortie de la batterie de préchauffage	°C
	$\theta_{souf1}(h)$	Température de l'air soufflé après impact l'échangeur statique de la centrale de la centrale	°C
	$\theta_{souf2}(h)$	Température de l'air soufflé après impact du ventilateur de soufflage de la centrale	°C
	$\omega_{souf,2}(h)$	Humidité spécifique après le ventilateur de soufflage	kg/kgas
	$\theta_{souf3}(h)$	Température de l'air après les batteries	°C

	chaude, froide ou d'humidification	
$\omega_{souf3}(h)$	Humidité de l'air après les batteries chaude, froide ou d'humidification	kg/kgas
$\theta_{souf,mel}(h)$	Température de l'air soufflé après la boîte de mélange	°C
$\omega_{extr}(h)$	Humidité absolue de l'air repris.	kg/kgas
$\omega_{souf,mel}(h)$	Humidité de l'air soufflé après la boîte de mélange	kg/kgas
$\rho_{an}(h)$	Masse volumique d'air neuf vue par la centrale	kg/m^3
$\Delta\omega(h)$	Variation d'humidité de l'air soufflé entre avant et après l'étape de refroidissement	kg/kgas
$\omega_{sat}(h)$	Humidité spécifique à saturation pour l'air soufflé à la température de surface du refroidisseur	kg/kgas
$\omega_{lim,hum}(h)$	Humidité spécifique limite en sortie de l'humidificateur	kg/kgas
$\theta_{air,souffle}(h)$	Température de l'air à la sortie de la centrale	°C
$\omega_{air\_souffle}(h)$	Humidité spécifique de l'air à la sortie de la centrale	kg/kgas
$\theta_{souf\_CH/FR}(h)$	Température de l'air en sortie de la centrale après prise en compte du chauffage/refroidissement	°C
$\omega_{souf\_CH/FR}(h)$	Humidité spécifique de de l'air en sortie de la centrale après prise en compte du chauffage/refroidissement	kg/kgas
$P_{vent,rep}(h)$ $P_{vent,sou}(h)$	Puissances des ventilateurs de reprise et de soufflage au pas de temps h	W
$q_{m,rep}(h)$ $q_{m,sou}(h)$	Débits massiques repris et soufflé de la centrale de ventilation en intégrant les fuites aérauliques, recalculés au pas de temps h.	kg/s
$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h)$ $q_{m,sou,spec}^{g,s}(h)$	Débit massique repris et soufflé en intégrant les fuites aérauliques en volume chauffé pour le composant bouches-conduits g,s	kg/s
$q_{m,rep,spec}(h)$ $q_{m,sou,spec}(h)$	Débit massique total repris et soufflé vu par la centrale en intégrant les fuites aérauliques en volume chauffé de tous les composant bouches-conduits connectés	kg/s
$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h)$ $q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)$	Débit massique repris et soufflé en intégrant les fuites aérauliques pour le composant bouches-conduits g,s.	kg/s
$q_{m,rep,cond}(h)$ $q_{m,sou,cond}(h)$	Débit massique total repris et soufflé vu par la centrale en intégrant les fuites aérauliques de tous les composant bouches-conduits connectés	kg/s
$q_{m,air\ neuf}(h)$	Débit massique d'air neuf soufflé	kg/s

Variables internes de débits

	$q_{m,air\ neuf\_min}{}^{g,s}(h)$	Débit massique d'air neuf minimal (hygiénique) à souffler pour le composant bouches-conduits g,s	kg/s
	$q_{m,air\ neuf\_min}(h)$	Débit massique d'air neuf minimal (hygiénique) à souffler	kg/s
	$\delta_{bypass}(h)$	Indicateur d'activation du by-pass de l'échangeur statique.	-
	$\theta_{e,ech,min}(h)$	Température d'air neuf de déclenchement de l'antigel	°C
Echangeur statique	$\varepsilon(h)$	Efficacité de l'échangeur au pas de temps h.	-
	$C_{air\_repris}(h)$ $C_{air\_neuf}(h)$	Débit capacitif de l'air repris et de l'air neuf (pour la caractérisation des performances de l'échangeur)	W/K
	$C(h)$	Rapport du débit capacitif minimal au débit maximal des deux-fluides de l'échangeur	-
	$NUT(h)$	Nombre d'unités de transfert de l'échangeur	-
	$C_{air\_rejetéi}(h)$	Débit capacitif de l'air rejeté	W/K
	$\theta_{\text{air,out\_batt\_ch}}$ $\theta_{\text{air,out\_batt\_fr}}$	Température d'air en sortie de la batterie eau/air dans les conditions nominales de débits et de températures d'entrée d'air/d'eau	°C
Puits hydraulique	$\varepsilon_{batt\_PH\_ch}$ $\varepsilon_{batt\_PH\_fr}$	Efficacité de la batterie eau-air du puits hydraulique calculée à l'aide des puissances de batterie, en mode préchauffage ou pré-refroidissement de l'air	Réel (0-1)
	$q_{m\text{-}AN\text{-}hiv}$ $q_{m\text{-}AN\text{-}ete}$	Débit massique d'air neuf de référence de la centrale lors de l'activation du puits hydraulique, en saison de chauffe et hors saison de chauffe	kg/s
	$\varepsilon_{batt-PH}(h)$	Efficacité de la batterie eau-air du puits hydraulique calculée à l'aide des au pas de temps h	Réel (0-1)
Rafraichissement évaporatif	θ_{hum_1} θ_{hum_2} θ_{hum_3} θ_{hum_4}	Températures de consignes permettant la gestion/régulation de l'humidification directe ou indirecte	
	$\xi_{\text{hum\_indir}}(\text{h})$ $\xi_{\text{hum\_dir}}(\text{h})$	Pourcentage d'utilisation de l'humidificateur indirect ou direct au pas de temps h	
	$\xi_{\text{hum\_indir}}(\text{h-1})$ $\xi_{\text{hum\_dir}}(\text{h-1})$	Pourcentage d'utilisation de l'humidificateur indirec ou direct au pas de temps h-1	

Constantes			
Nom	**Description**	**Unité**	**Valeur**
C_{pa}	Chaleur massique de l'air	J/kg.K	1006
C_{pv}	Chaleur massique de la vapeur d'eau.	J/kgK	1830
C_{pe}	Chaleur massique de l'eau.	J/kgK	4180
L_v	Chaleur de vaporisation de l'eau	J/kg	2501000
ρ_{ref}	Masse volumique de l'air de référence	kg/m^3	1,2
θ_{ref}	Température d'air correspondant à la masse volumique de l'air de référence	°C	20
Pel	Rendement des ventilateurs	-	0,8
$\varepsilon_{utile\ max}$	Efficacité maximale de l'échangeur en l'absence de valeurs certifiées ou justifiées	-	0,5
A, B, C	Constantes empiriques de calcul de l'humidité spécifique à saturation à une température d'air donnée	-	A= 18,8161 B=4110,34 C =235,0
$\eta_{el,vent}$	Rendement des ventilateurs	-	0,8
ρ_{eau_gl}	Masse volumique de l'eau glycolée *(Puits hydraulique)*	kg/m^3	1040
Cp_{eau_gl}	Capacité calorifique de l'eau glycolée *(Puits hydraulique)*	J.kg^{-1}.K^{-1}	3751
$\varepsilon_{batt\_PH\_défaut}$	Efficacité par défaut de l'échangeur air/eau glycolée du puits hydraulique	-	0,65

Tableau 62 : Nomenclature du modèle

6.3.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

6.3.3.1 ***Principe général***

Cette fiche décrit la modélisation de 4 types de système de ventilation mécanique, distingués par le paramètre Type_ventilation_mecaniq :

- 1- Groupe de ventilation double flux
- 2- Centrale de prétraitement d'air à débit constant
- 3- Centrale de traitement d'air à débit constant et température variable
- 4- Centrale de traitement d'air à débit variable

On décrit successivement le calcul des débits, des consommations de ventilateurs, des températures et des humidités pour la partie centrale. Les sorties sont :

- la consommation électrique des ventilateurs ainsi que celles des autres auxiliaires,
- les besoins de (pré)chauffage et de (pré)refroidissement par type de générateur.

Les consommations électriques des pompes des humidificateurs (hiver et été) sont incluses dans les consommations d'auxiliaires de ventilation.

Le modèle tient compte des déperditions thermiques par les conduits.

6.3.3.1.1 Description d'une VMC Double flux (Type_ventilation_mecaniq=1)

Les systèmes de ventilation mécanique contrôlée double flux sont constitués des éléments de base suivant :

- Echangeur,
- Ventilateurs.

Ils peuvent être complétés par les éléments suivants :

- Bypass
- Batterie antigel associée à l'échangeur,
- Batteries de préchauffage et de prérefroidissement,
- Dispositif d'humidification pour l'hiver,
- Dispositif d'humidification directe ou indirecte pour le confort d'été.
- Dispositif de rafraichissement par surventilation mécanique

Ces dispositifs ne disposent pas d'une boucle de recyclage, les débits soufflés et extraits sont constants (mis à part en période de surventilation mécanique) et constitués à 100% d'air neuf.

6.3.3.1.2 Description d'une Centrale de traitement d'air (Type_ventilation_mecaniq=2, 3 ou 4)

Les centrales de traitement d'air se distinguent des centrales doubles flux par la présence de

boucle de recyclage sur l'air soufflé permettant le soufflage de débits supérieurs aux débits hygiéniques. Elles comprennent en général des batteries régulées en fonction de la température intérieure. Plusieurs types de gestion seront différenciés :

- Préchauffage/Prérefroidissement à température et débits de soufflage constants

- Chauffage/refroidissement à température de soufflage variable régulée selon la charge thermique du local et débit de soufflage constant

- Chauffage/refroidissement à température de soufflage constante et débit de soufflage variable régulé selon la charge thermique du local

L'humidification est toujours à poids d'eau constant.

Les centrales de traitement d'air ne sont pas prévues pour les usages résidentiels.

6.3.3.1.3 Système équivalent

En présence de batterie chaude ou froide, le système réel est représenté par un système équivalent du point de vue énergétique, composé :

- d'une centrale assurant la fourniture d'air neuf, le soufflage et l'extraction de l'air, ainsi que son (pré)traitement éventuel. Elle calcule la consommation électrique des auxiliaires et les consommations impliquées par un (pré)traitement de l'air. On intègre également les fonctions de free cooling,

- d'un ou plusieurs émetteurs locaux permettant de combler les besoins de chauffage et refroidissement s'il y a lieu (cas des CTA-DAC). En présence de batteries terminales de chauffage, celles-ci sont représentées par les émetteurs locaux,

- de réseaux hydrauliques, qui doivent être tels qu'ils puissent relier les batteries chaude et/ou froide, les batteries terminales le cas échéant et les émetteurs locaux aux générateurs correspondants.

En présence de préchauffage et/ou de prérefroidissement avec batterie terminale, un réseau relie la batterie de préchauffage à la génération de chaleur et un réseau relie la batterie de prérefroidissement à la génération de froid, l'émetteur local est alors relié par un réseau sans pertes. Pour ce dernier, on applique la méthode de détermination des besoins dans les conditions suivantes :

- le débit d'eau est variable dans la batterie, la température de la batterie est déterminée sur la base des besoins,

- pas de calcul de consommation de ventilateur, il est pris en compte dans la CTA.

En l'absence de préchauffage et/ou de prérefroidissement, le réseau relie alors l'émetteur local et la génération de chaleur et la génération de froid. S'il y a des batteries terminales de chauffage elles sont reliées à la génération de chaleur.

6.3.3.1.4 Principe de gestion des débits

En usage résidentiel, il est fait l'hypothèse que seul le système double flux (Type_ventilation_mecaniq=1) est compatible, le débit de la centrale est alors constant hormis en période de rafraîchissement par surventilation mécanique.

En usage non résidentiel, les CTA sont caractérisées par 3 débits :

- Un débit en zone neutre en inoccupation (indice ZN_innoc) consistant au débit d'hygiène minimal en inoccupation
- Un débit en zone neutre en occupation (indice ZN_occ) consistant au débit d'hygiène minimal en occupation
- Un débit nominal en mode actif (indice CH), correspondant au débit soufflé en cas d'utilisation des batteries chaude/froide

La gestion des débits totaux est ensuite différenciée selon le type de CTA et la présence d'un dispositif de rafraichissement adiabatique.

6.3.3.1.4.1 Absence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete=0)

Cas des CTA à débit constant (Type_ventilation_mecaniq=2 ou 3)

Pour les CTA à débit constant, les débits totaux sont soit le débit minimum d'inoccupation, soit le débit nominal en mode actif. Le débit en zone neutre en occupation est alors seulement utilisé pour quantifier le débit d'air neuf en occupation. La gestion des débits totaux est fonction de la programmation horaire, de l'occupation et de la charge thermique en inoccupation comme indiqué sur la figure suivante. Le fonctionnement est constant sur un pas de temps.

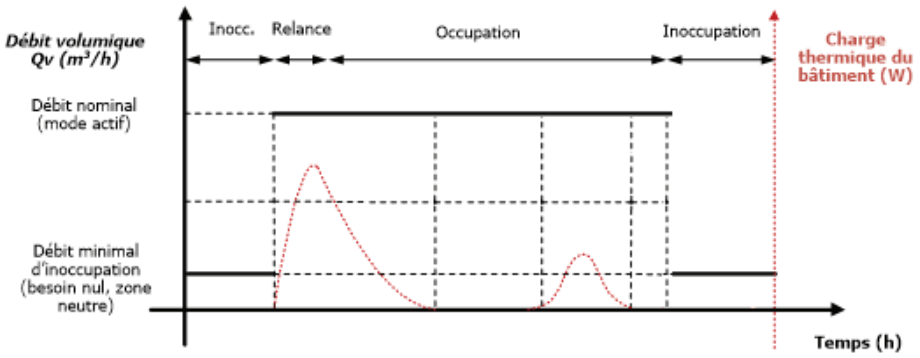


Figure 70 : illustration de la régulation à débit constant

Ainsi,

1. En occupation au sens de la ventilation (ivent(h) =1) :

Le débit volumique total est toujours pris égal au débit d'air en mode actif. Le débit d'air neuf minimal est égal au débit de zone neutre en occupation et, si cela présente un intérêt thermique, un débit nominal tout air neuf peut être soufflé.

2. En inoccupation au sens de la ventilation (ivent(h) =0) :

Le débit d'air neuf est toujours pris égal au débit de zone neutre en inoccupation. Le débit volumique total est cependant variable :

- En période de relance ou lorsque les besoins au pas de temps précédent ont été détectés, le débit volumique total est pris égal au débit nominal en mode actif pour le pas de temps considéré. Dans le cas de la CTA à débit constant et à température régulée selon la charge thermique du local (Type_ventilation_mecaniq=3), cette configuration est également mise en place, lorsque la puissance fournie par l'UAT au pas de temps précédent a été insuffisante pour couvrir les besoins en énergie ($is_{report\_ch}^{g}(h-1) =1$ ou $is_{report\_fr}^{g}(h-1) =1$)

- Dans le cas contraire, le débit volumique est pris égal au débit de zone neutre en inoccupation

Cas des CTA à débit variable (Type_ventilation_mecaniq=4)

Dans le cas des CTA à débit variable, la gestion est assimilée à une régulation à trois débits

fonction de l'occupation, la programmation horaire de la charge thermique telle que représentée sur la figure suivante. La durée de fonctionnement à chaque pas de temps horaire est ensuite adaptée en fonction de la charge thermique.

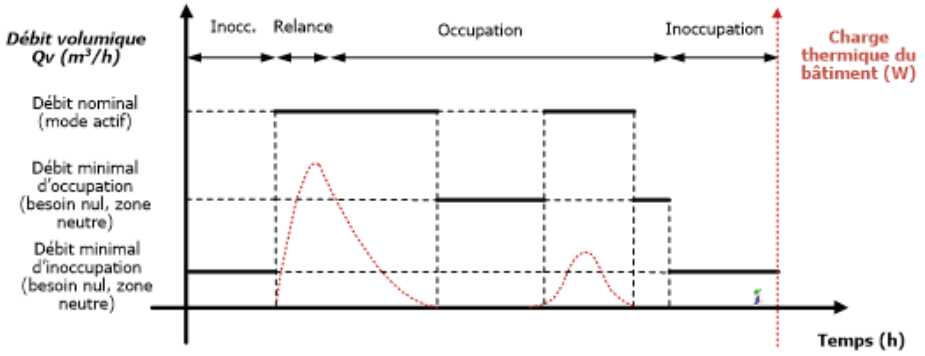


Figure 71 : illustration de la régulation à débit variable en fonction de la charge thermique

Ainsi,

1. En occupation au sens de la ventilation (ivent(h) =1) :

- Lorsque les besoins sont nuls ($\sum Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)=0$ ou $\sum Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)=0$ Wh), le débit volumique est pris égal au débit d'air de la zone neutre en occupation. Le taux d'air neuf est alors de 100%.

- Lorsque les besoins sont non-nuls ($\sum Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)>0$ ou $\sum Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)<0$ Wh) ou lorsque la puissance fournie par l'UAT au pas de temps précédent a été insuffisante pour couvrir les besoins en énergie ($is_{report\_ch}^{g}(h-1) =1$ ou $is_{report\_fr}^{g}(h-1) =1$, le débit volumique bascule au débit nominal en occupation (mode actif). Le débit d'air neuf minimal est égal au débit de la zone neutre en occupation et, si cela présente un intérêt thermique, un débit nominal tout air neuf peut être soufflé.

2. En inoccupation au sens de la ventilation (ivent(h) =0) :

- Lorsque les besoins sont nuls ($\sum Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)=0$ ou $\sum Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)=0$ Wh), le débit volumique est pris égal au débit de zone neutre en inoccupation et le taux d'air neuf est de 100%.

- En période de relance ou lorsque les besoins sont non-nuls ($\sum Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)>0$ ou $\sum Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)<0$ Wh) ou lorsque la puissance fournie par l'UAT au pas de temps précédent a été insuffisante pour couvrir les besoins en énergie ($is_{report\_ch}^{g}(h-1) =1$ ou $is_{report\_fr}^{g}(h-1) =1$ le débit volumique bascule au débit nominal en occupation (mode actif), le débit d'air neuf restant égal au débit de zone neutre en inoccupation.

Note :

1. *si la centrale est reliée à des bouches situées dans différents groupes, lorsqu'un de ces groupes est en phase relance ou lorsqu'il présente un besoin de chaud ou un besoin de froid, la centrale fonctionne comme ci-dessus et tous les groupes qui lui sont reliés sont irrigués.*

2. *Lors des périodes de* rafraîchissement par surventilation mécanique*, le débit peut être porté à un débit nominal de* rafraîchissement par surventilation mécanique *afin de profiter des faibles températures extérieures pour abaisser la température intérieure du bâtiment. Le taux d'air neuf est alors de 100% et le récupérateur est bypassé.*

6.3.3.1.4.2 Présence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete=1 ou 2)

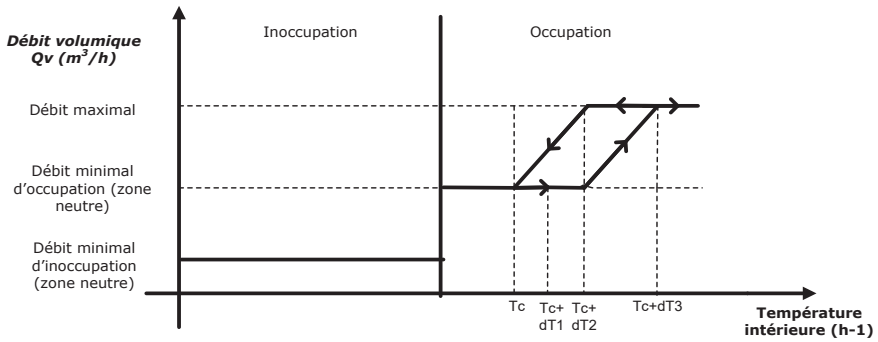
Cas des CTA à débit constant et systèmes double flux (Type_ventilation_mecaniq=1,2 ou 3)

La gestion des débits est identique à celle présentée en cas d'absence de système adiabatique.

Cas des CTA à débit variable (Type_ventilation_mecaniq=4)

Dans ce cas, lorsque l'activation de la fonction de rafraichissement adiabatique n'est pas autorisée (Aut_adiab=0), la gestion des débits est identique à celle présentée en cas d'absence de système adiabatique.

Dans le cas contraire ou l'activation du système adiabatique est autorisée (Aut_adiab=1), on utilise une régulation de débit basée sur un hystérésis fonction de la température intérieure au pas de temps précédent comme présenté sur la figure suivante.



Ainsi,

1. En occupation au sens de la ventilation (ivent(h) =1) :

   Le débit total varie linéairement avec la température intérieure au pas de temps précédent entre le débit de zone neutre en occupation (indice ZN_occ) et le débit en mode actif (indice CH). Dans le cas d'un rafraichissement adiabatique direct, le débit d'air neuf varie linéairement entre le débit de zone neutre en occupation et le débit nominal tout air en fonction de l'intérêt thermique. Pour un rafraichissement adiabatique indirect, le taux d'air neuf est de 100%.

2. En inoccupation au sens de la ventilation (ivent(h) =0) :

   Le débit volumique est pris égal au débit de zone neutre en inoccupation et le taux d'air neuf est de 100%.

Note :

Si la centrale est reliée à des bouches situées dans différents groupes, lorsqu'un de ces groupes est dans des conditions thermiques telles que l'activation du rafraichissement adiabatique est autorisée, la centrale fonctionne comme ci-dessus et tous les groupes qui lui sont reliés sont irrigués.

6.3.3.1.5 Déroulement sur un pas de temps

Sur un pas de temps horaire h donné, le calcul se déroule en deux phases :

- La première phase de modélisation est commune à tous les systèmes centralisés. Elle consiste à fournir les données d'entrée pour l'algorithme de modélisation du comportement thermique du groupe, à savoir débits massiques, températures et humidités de l'air soufflés dans le groupe. Cette première phase intervient avant le calcul des besoins d'énergie de chauffage et de refroidissement du groupe. On ne dispose donc ni de la température ni de l'humidité moyennes du pas de temps actuel h, ce qui nécessite de faire appel aux températures et à l'humidité finales du pas de temps précédent h-1 pour mener le calcul.

- La seconde phase de modélisation ne concerne que les CTA à charge variable. Elle permet de caractériser le fonctionnement effectif du système au pas de temps h lorsque les batteries de chauffage ou refroidissement sont activées. On recalcule les débits, températures, humidités de l'air, consommations électriques des différentes fonctions et besoins de chauffage et de refroidissement en prenant en compte la charge thermique du groupe.

La figure suivante présente l'organisation du calcul.

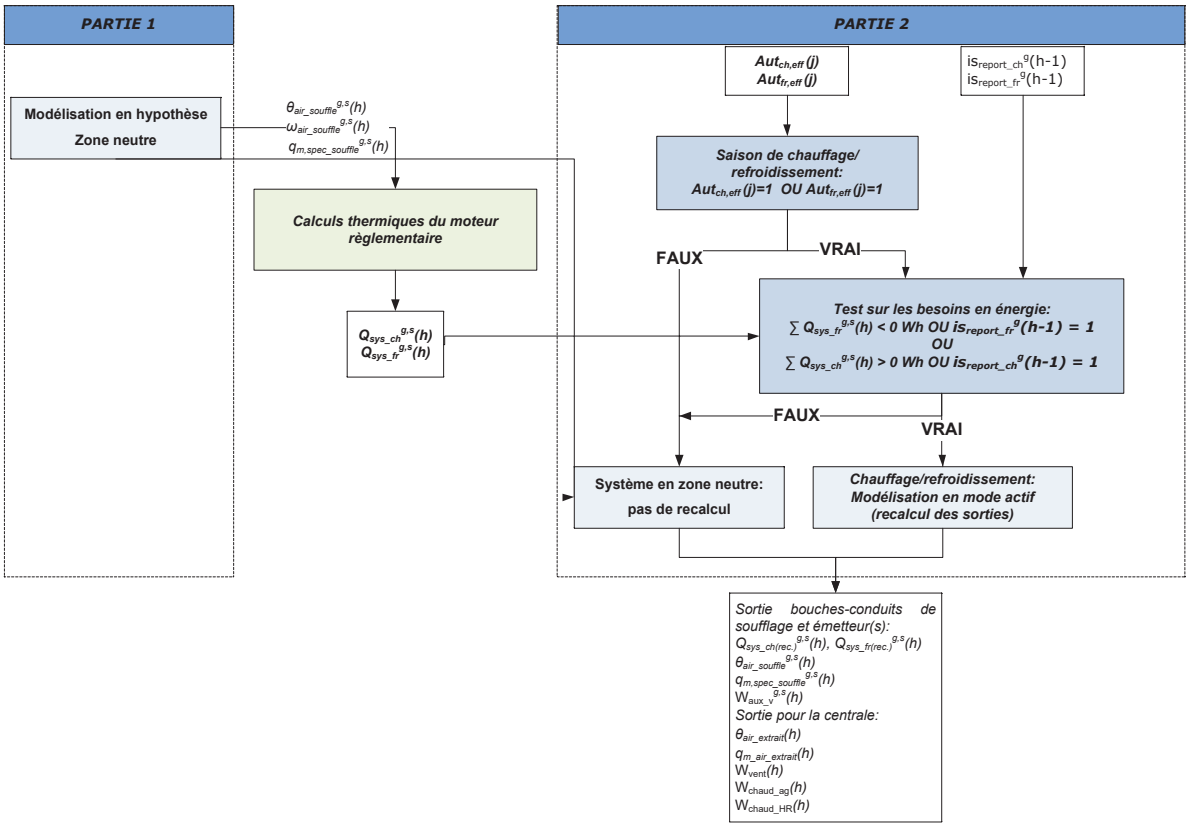


Figure 72: organisation générale du calcul

Les modèles algorithmiques pour les modes zone neutre et actif seront décrits par la suite.

6.3.3.2 *Conditions sur les paramètres*

6.3.3.2.1 Raccordement au puits climatique ou hydraulique

Une centrale de ventilation ne peut pas être reliée simultanément à un puits climatique et un puits hydraulique :

Si Id_puits_climatique > 0 et Id_puits_hydraulique > 0 , alors, on lève l'exception suivante :

« Exception : la centrale de ventilation ne peut pas être reliée simultanément à un puits climatique et un puits hydraulique*. »* (439)

6.3.3.2.2 Gestion du préchauffage et prérefroidissement

Les paramètres de régulation définis par l'utilisateur concernant la batterie de préchauffage et la batterie de prérefroidissement ne doivent pas permettre un fonctionnement simultané des deux. Ainsi

Si $\theta_{ex,préchaud} \geq \theta_{ex,préfroid}$, alors, on lève l'exception suivante :

« Exception : la température extérieure d'autorisation de préchauffage est supérieure à la température extérieure d'autorisation de prérefroidissement. » (440)

6.3.3.2.3 Prérefroidissement et rafraichissement évaporatif

La présence d'une fonction de rafraichissement évaporatif par humidification directe n'est pas compatible avec la présence d'une batterie de prérefroidissement.

Si $Is_{\_prerefroidissement} = 1$: oui et $Type_{\_HR\_Ete} > 0$ (une valeur strictement positive signifie qu'un rafraichissement évaporatif est présent), alors,

« Exception : il n'est pas possible de définir une fonction de prérefroidissement et une fonction de rafraichissement évaporatif dans la même centrale de traitement d'air.» (441)

6.3.3.2.4 Batterie de prérefroidissement et groupes climatisés

Au moins un groupe climatisé doit être relié à un système de ventilation comportant une batterie froide.

Si $Is_{\_prerefroidissement} = 1$: oui et $\max_{gr} (Is_{climatise}{}^{gr}) = 0$ alors,

« Exception : une centrale de traitement d'air ne peut contenir de batterie de préfroidissement que si elle est reliée à au moins un groupe climatisé. ». (442)

6.3.3.3 *Calcul prealable à la simulation (preprocesseur)*

6.3.3.3.1 Puissance absorbée par les ventilateurs en usage d'habitation

En usage d'habitation (maison individuelle et logement collectif), on calcule une puissance absorbée par les ventilateurs moyenne dans le temps, en fonction des débits de base et de pointe. La durée d'utilisation du débit de pointe prise en compte est le maximum des durées d'utilisation paramétrées dans les bouches-conduits g,s connectés :

$$Dugd = MAX_{g,s}(Dugd) \quad (443)$$

On en déduit la consommation électrique moyenne des ventilateurs dans le temps en occupation et inoccupation :

$$P_{vent,occ,sou} = \frac{(168 - Dugd).P_{vent,base,sou} + Dugd.P_{vent,pointe,sou}}{168} \quad (444)$$

$$P_{vent,inocc,sou} = P_{vent,occ,sou} \quad (445)$$

$$P_{vent,occ,rep} = \frac{(168 - Dugd).P_{vent,base,rep} + Dugd.P_{vent,pointe,rep}}{168} \quad (446)$$

$$P_{vent,inocc,rep} = P_{vent,occ,rep} \quad (447)$$

6.3.3.3.2 Coefficients de transfert thermique externe des conduits reliant les locaux à la centrale

Pour chaque composant bouches-conduits de reprise g,s connecté à la centrale, le coefficient de transfert thermique externe du conduits entre l'air repris et l'ambiance non-chauffée est défini comme suit :

$$H^{g,s}_{cond,rep,ext} = \frac{A^{g,s}_{cond,rep,ext}}{R^{g,s}_{rep} + 0{,}02} \quad (448)$$

Où :

- $R^{g,s}_{rep}$ est la résistance thermique externe du conduit entre l'air repris et l'ambiance (m².K/W),
- $A^{g,s}_{cond,rep,ext}$ est la surface externe du conduit de reprise sur sa portion non-chauffé.

Le calcul est identique pour les bouches-conduits de soufflage connecté à la centrale, avec comme paramètres respectif R_{sou} et $A_{cond,sou,ext}$.

6.3.3.3.3 Prise en compte du statut de l'efficacité de l'échangeur

L'efficacité du récupérateur (échangeur statique ou à roue) fait l'objet d'un prétraitement selon le statut de la donnée. L'efficacité ε_t définie en paramètre doit être mesurée pour des débits correspondant à la zone neutre en occupation.

- **Statut certifié *($id_{statut\ \_echangeur}$ = 2)*:** la valeur issue d'une certification basée sur la norme EN 13141-7 si le produit est certifié par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation,

$$\varepsilon = \varepsilon_{saisi} \quad (449)$$

- **Statut justifié *($id_{statut\ \_echangeur}$ = 1)*:** $\varepsilon_{modeCH\_saisi}$ / $\varepsilon_{modeFR\_saisi}$ est la valeur justifiée par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme EN 13141-7,

$$\varepsilon_t = 0{,}9 \times \varepsilon_{saisi} \quad (450)$$

- **Statut déclaré *($id_{statut\ \_echangeur\_ch}$ = 0 / $id_{statut\ \_echangeur\_fr}$ = 0)*:** la valeur est simplement déclarée par le fabricant :

$$\varepsilon_t = MIN(0{,}8 \times \varepsilon_{saisi}\,;\varepsilon_{utile\_max}\ ) \quad (451)$$

6.3.3.3.4 Pretraitement relatif au puits hydraulique

En préalable à la simulation, ***si Type_eff_echangeur_PH = 1***, on calcule l'efficacité de la batterie eau/air du puits hydraulique à partir des puissances thermiques déclarées.

Pour le fonctionnement du puits hydraulique en préchauffage de l'air neuf :

Le débit d'air neuf de référence est le débit d'air neuf nominal en occupation en intégrant les fuites des conduits :

Si Type_ventilation_mecaniq=1

$$q_{m-AN-hiv} = \sum_g q_{souf\_cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (452)$$

Sinon

$$q_{m-AN-hiv} = \sum_g q_{souf_{CH},cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (453)$$

Dans tous les cas

$$\theta_{air-out-batt\_ch} = -10°C + \frac{1000.P_{ch}}{Cp_{air} \cdot q_{m-AN-hiv}} \quad (454)$$

$$\varepsilon_{batt\_PH\_ch} = \frac{\theta_{air-out-batt\_ch} - (-10°C)}{10°C - (-10°C)} \quad (455)$$

Pour le fonctionnement du puits hydraulique en prérefroidissement de l'air neuf :

Si la centrale dispose d'une fonction de surventilation d'été synchronisée avec le fonctionnement du puits hydraulique (Type_Surventilation_PH = 1), alors le débit d'air neuf de référence est le débit de surventilation :

$$q_{m-AN-ete} = q_{m\_sou\_rafnoc\_cond} \quad (456)$$

Sinon, (Type_Surventilation_PH = 0), il s'agit du débit d'air neuf en occupation :

Si Type_ventilation_mecaniq=1

$$q_{m-AN-ete} = \sum_g q_{souf\_cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (457)$$

Sinon

$$q_{m-AN-ete} = \sum_g q_{souf_{CH},cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (458)$$

On en déduit l'efficacité de la batterie :

$$\theta_{air-out-batt\_fr} = 30°C - \frac{1000.P_{fr}}{Cp_{air} \cdot q_{m-AN-ete}} \quad (459)$$

$$\varepsilon_{batt\_PH\_fr} = \frac{30°C - \theta_{air-out-batt\_fr}}{30°C - 10°C} \quad (460)$$

Si $\varepsilon_{batt\_PH\_ch}$ ou $\varepsilon_{batt\_PH\_fr}$ sont supérieurs à 1 à l'issue de ce calcul, un message d'erreur est renvoyé à l'utilisateur pour lui signaler que les puissances de batteries eau/air saisies sont supérieures à la puissance maximale physiquement admissible au débit de ventilation renseigné.

Au contraire, ***si Type_eff_echangeur_PH = 0***, on attribue la valeur par défaut $\varepsilon_{batt\_PH\_defaut}$ (0,65) à l'efficacité de la batterie air/eau du puits hydraulique, comme suit :

$$\varepsilon_{batt\_PH\_ch} = \varepsilon_{batt\_PH\_fr} = \varepsilon_{batt\_PH\_défaut} \quad (461)$$

6.3.3.4 *Modélisation au pas de temps horaire en zone neutre (chauffage et refroidissement désactivés)*

La modélisation du système en zone neutre intervient à tous les pas de temps, en partie 1 du calcul. Il est fait l'hypothèse que les fonctions de chauffage et refroidissement en fonction des besoins sont désactivées. Le prétraitement de l'air est par contre permis.

6.3.3.4.1 Prise en compte des modes de fonctionnement saisonniers

Les centrales de ventilation possède des modes de fonctionnement dépendant de la saison. Ainsi, outre leurs modes de gestion respectifs, les batteries de préchauffage, prérefroidissement, d'humidification et d'antigel sont asservies aux saisons de fonctionnement de la centrale, elle-même héritées des saisons au niveau des groupes desservis.

L'indicateur de saison de chauffage de la centrale est toujours l'indicateur de saison effectif déterminé dans *C_Ein_Détermination des saisons des systèmes :*

$$Aut_{ch}(j) = Aut_{ch,eff}(j) \quad (462)$$

Pour le refroidissement, on distingue deux cas :

- Pour une centrale associée à au moins un groupe climatisé, la saison de refroidissement est délimitée par l'indicateur $Aut_{fr,eff}(j)$:

$$Aut_{fr}(j) = Aut_{fr,eff}(j) \quad (463)$$

- Pour centrale non-associée à au moins un groupe climatisé), l'indicateur $Aut_{fr,eff}(j)$ est toujours nul. On délimite cependant une saison de refroidissement équivalente pour la prise en compte des fonctions de rafraichissement passif, selon la relation suivante :

$$Aut_{fr}(j) = \max_{g,s}\left(Aut_{fr-pro}^{g,s}(j)\right) \quad (464)$$

6.3.3.4.2 Activation de la fonction de rafraichissement adiabatique

L'autorisation d'utiliser la fonction de rafraichissement adiabatique, Aut_adiab, dépend de l'inactivation de la surventilation mécanique, de la saison en cours (période de chauffage ou non) et de la valeur de température intérieure au pas de temps précédent. En présence de plusieurs groupes reliés à une même centrale, l'activation est effective si la température moyenne des groupes reliés à la centrale présente les conditions nécessaires.

Si [$\theta_{i,moy}^{g} > \theta_{i\_base}$ et $Aut_{fr}(j) = 1$ et $i_{rafinocc\_activé}(h) = 0$

Aut_adiab=1

Sinon,

Aut_adiab=0

Une valeur minimale de θ_{i_base} est fixée conventionnellement à 22°C.

6.3.3.4.3 Calcul des débits massiques d'air

6.3.3.4.3.1 Masse volumique d'air repris et température d'air neuf

La masse volumique de l'air intérieur est la suivante :

$$\rho_{i,fin}^{g}(h-1) = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+\theta_{i,fin}^{g}(h-1))} \quad (465)$$

La température d'air neuf dépend de la présence d'un système de puits hydraulique ou climatique en amont de la centrale :

- Si $I_{climatique}$=0 et $I_{hydraulique}$=0, absence de puits climatique ou hydraulique :

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (466)$$

- Si $I_{climatique}$>0 vrai, présence d'un puits climatique :

Dans ce cas, la température d'air neuf est égale à la température de sortie du puits climatique, avec les débits d'air neuf calculés à la fin du pas de temps précédent:

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{airout}{}^{pc}(h) \quad (467)$$

- Si $I_{hydraulique}$>0 vrai, présence d'un puits hydraulique :

A l'issue du calcul de la température de sortie d'eau du puits hydraulique avec les débits d'air neuf calculés à la fin du pas de temps précédent (voir C_Ven_Puits hydraulique), on calcule la température d'air neuf corrigée suite au passage de l'air dans la batterie eau-air.

Si $Q_{PH}(h)$>0, alors le puits hydraulique est en fonctionnement et l'air entrant passe par la batterie eau-air. La température d'air en sortie du puits hydraulique est la suivante :

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{ext}(h) + \varepsilon_{batt-PH}(h-1).\left(\theta_{\text{eau-out}}{}^{\text{PH}}(h) - \theta_{ext}(h)\right) \quad (468)$$

Avec,

$$\begin{aligned} &\text{En saison de chauffage } (Aut_{ch}(h)=1)\text{: } \varepsilon_{batt-PH}(h-1) = \varepsilon_{batt-PH-ch} \\ &\text{Hors saison de chauffage } (Aut_{ch(h)}<1)\text{: : } \varepsilon_{batt-PH}(h-1) = \varepsilon_{batt-PH-fr} \end{aligned} \quad (469)$$

Sinon

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (470)$$

La masse volumique de l'air neuf s'écrit :

$$\rho_{an}(h) = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+\theta_{an}(h))} \quad (471)$$

6.3.3.4.3.2 Débits massiques soufflés

En mode rafraîchissement par surventilation mécanique ($i_{rafinocc\_activé}$ *(h) = 1):*

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{sou\_raf,noc\_cond} \quad (472)$$

Sinon, selon le type de centrale de ventilation et le mode de régulation des débits, les débits volumiques utilisés diffèrent :

Cas des systèmes double flux (Type_ventilation_mecaniq=1)

Le recyclage étant absent quelle que soit la période, le débit volumique est le débit soufflé calculé dans le chapitre bouche_conduit et fonction de l'occupation :

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{sou\_cond}(h) \quad (473)$$

Cas des centrales à débit constant (Type_ventilation_mecaniq=2) :

Dans ce cas de figure, le débit volumique est le débit nominal pour toute la période d'occupation et de relance et en cas de besoins énergétique constaté dans au moins un des groupes connectés.

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souCH\_cond}(h) \quad (474)$$

2. sinon :

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h) \quad (475)$$

Cas des centrales à débit constant régulées selon la charge (Type_ventilation_mecaniq=3) :

Dans ce cas de figure, en mode zone neutre, le débit volumique est le débit nominal pour toute la période d'occupation et de relance.

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souCH\_cond}(h) \quad (476)$$

2. sinon :

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h) \quad (477)$$

Cas des centrales à débit variable (Type_ventilation_mecaniq=4) :

- Absence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete=0)

En mode zone neutre, le débit volumique est systématiquement le débit d'indice « ZN » correspondant au minimum hygiénique tout air neuf.

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h) \quad (478)$$

- Présence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete =1 ou2)

Dès lors que *Aut_adiab = 0*, le calcul des débits massiques repris est la même que lorsque Type_Humidification_Ete = *0*.

En revanche, si *Aut_adiab = 1*, on utilise les algorithmes suivants pour modéliser le fonctionnement du système en mode rafraichissement adiabatique :

1. En occupation au sens de la ventilation (*$is_{vent}(h) = 1$*) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si (*$is_{vent}(h-1) = 0$* & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1))=1$ ou si (*$is_{vent}(h-1) = 0$*) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1))=1$

Selon la température intérieure au pas de temps précédent, le débit de soufflage évolue entre *Qv_sou_ZN,occ* et *Qv_sou_CH*. Le profil choisi pour cette évolution du débit de soufflage en fonction de $\theta^{g}_{i,moy}$(h-1) est un profil à hystérésis basé sur 3 paramètres θ_{i_base}, $\Delta\theta_{i1}$ et $\Delta\theta_{i2}$.

Les températures de consignes permettant la gestion/régulation du débit de soufflage sont définies ainsi :

$$\begin{aligned}
&\theta_{hum_1} = \theta_{i_base} + \Delta\theta_{i1} \\
&\theta_{hum_2} = \theta_{i_base} + \Delta\theta_{i1} + \Delta\theta_{i2}, \\
&\theta_{hum_3} = \theta_{i_base} + \Delta\theta_{i2} \\
&q_{hum_4} = \theta_{i_base}
\end{aligned} \quad (479)$$

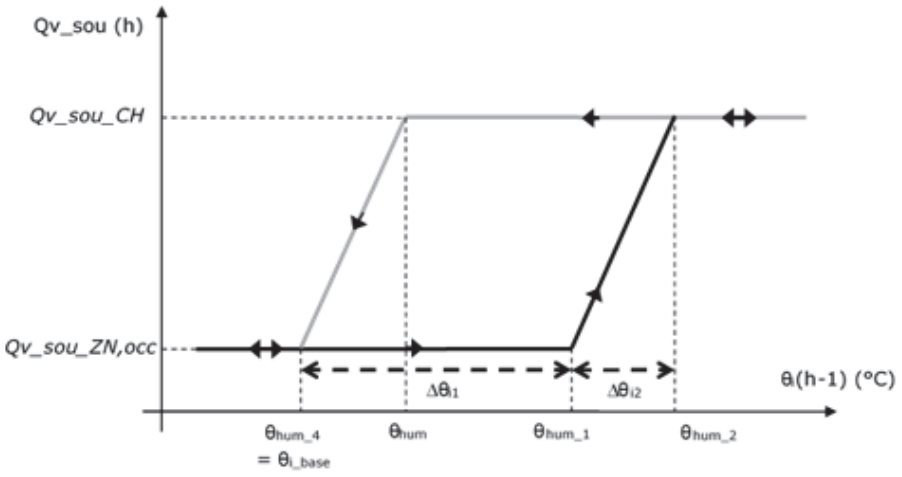


Figure 73 : Diagramme à hystérésis décrivant l'évolution du débit de soufflage en fonction de la température intérieure au pas de temps précédent

L'algorithme donnant à chaque pas de temps le débit de soufflage est le suivant :

$$Si\ \theta^{s}_{i,fin} \leq \theta_{hum\_4}, \quad (480)$$

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h)$$

Sinon, si $\theta^{s}_{i,fin} \geq \theta_{hum\_2}$,

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souCH\_cond}(h)$$

Sinon,

Si $\theta^{s}_{i,fin} \leq \theta^{s}_{i,fin}$ *(augmentation de température d'air)*

Si $\theta^{s}_{i,fin} \leq \theta_{hum\_1}$,

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = q^{g,s}_{m,sou,cond}(h-1)$$

Sinon, (cas : $\theta_{hum\_1} < \theta^{s}_{i,fin} < \theta_{hum\_2}$*)*

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = MAX\left(q^{g,s}_{m,soucond}(h-1); \frac{\rho^{g,s}_{air,souffle}(h-1)}{3600}.\left[q^{g,s}_{souZN,cond}(h) + \left(q^{g,s}_{souCH,cond}(h) - q^{g,s}_{souZN,cond}(h)\right).\frac{\theta^{s}_{i,fin} - \theta_{hum,1}}{\theta_{hum,2} - \theta_{hum,1}}\right]\right)$$

Sinon, (diminution de température opérative)

Si $\theta^{s}_{i,fin} \geq \theta_{hum\_3}$,

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = q^{g,s}_{m,sou,cond}(h-1)$$

Sinon, (cas : $\theta_{hum\_4} < \theta^{s}_{i,fin} < \theta_{hum\_3}$ *)*

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = MIN\left(q^{g,s}_{m,soucond}(h-1); \frac{\rho^{g,s}_{air,souffle}(h-1)}{3600}.\left[q^{g,s}_{souZN,cond}(h) + \left(q^{g,s}_{souCH,cond}(h) - q^{g,s}_{souZN,cond}(h)\right).\frac{\theta^{s}_{i,fin} - \theta_{hum,4}}{\theta_{hum,3} - \theta_{hum,4}}\right]\right)$$

2. Sinon :

$$q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h) \quad (481)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q^{g,s}_{m,sou,spec}(h) = MAX\left(0\,; q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) - \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{sou,fuites,hvc}\right) \quad (482)$$

Soit ramenés au niveau de la centrale :

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s\in S} q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) \quad (483)$$

$$q_{m,sou,spec}(h) = \sum_{g,s \in s} q^{g,s}_{m,sou,spec}(h) \quad (484)$$

6.3.3.4.3.3 Débits massiques d'air neuf

En mode rafraîchissement par surventilation mécanique ($i_{rafnoc\_activé}$ *(h) = 1) ou* dans le cas des systèmes double flux (type ventilation mécanique =1)

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (485)$$

Sinon, l'algorithme est le suivant.

- Absence d'un système de rafraichissement adiabatique indirect (Type_Humidification_Ete=0 ou 1)

Le débit massique d'air neuf minimal (hygiénique) au pas de temps h est le suivant :

Si $q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1).q^{g,s}_{souZN\_cond}(h)$ (pas de recyclage)

$$q^{g,s}_{m,air\_neuf\_min}(h) = q^{g,s}_{m,sou,cond}(h) \quad (486)$$

Sinon (recyclage)

$$q^{g,s}_{m,air\_neuf\_min}(h) = taux^{g,s}_{AN\_min}(h) \,.\, q^{g,s}_{m,sou,cond}(h)$$

De cette manière, les fuites totales des réseaux sont affectées au débit d'air neuf en l'absence de recyclage, sinon les fuites sont affectées au prorata du débit taux d'air neuf

Ramené au niveau de la centrale :

$$q_{m,air\_neuf\_min}(h) = \sum q^{g,s}_{m,air\_neuf\_min}(h) \quad (487)$$

Le modèle ne prend en compte que les variations de débit d'air neuf à des fins de « *free cooling* ». Le débit d'air neuf utilisé par le système de ventilation dépend donc de la température de l'air neuf et potentiellement de la température intérieure.

Si $\theta_{an}(h) \leq T_{ENC}$, alors,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min} \quad (h) \quad (488)$$

Sinon,

Si $T_{ENC} < \theta_{an}(h) < T_{ENF}$,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min} \quad (h) + \left(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf\_min} \quad (h)\right) \times \frac{\theta_{an}(h) - T_{ENC}}{T_{ENF} - T_{ENC}} \quad (489)$$

Sinon,

- ***Cas Type_régul_AN = « 0) Régulation standard » (par défaut)*** :

dans ce cas, le taux d'air neuf est toujours minimal en mode refroidissement, il est calculé de la façon suivante :

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min} \quad (h) \quad (490)$$

- ***Cas Type_régul_AN = « 1) Régulation optimisée »***

Dans ce cas, le débit d'air neuf est régulé sur la température extérieure et sur la température de reprise : on maintient un débit d'air neuf supérieur au débit minimal en mode refroidissement si la température extérieure est inférieure à la moyenne barycentrique des températures des débits repris $\theta_{i,moy,}^{g}(h)$

Si $\theta_{an}(h) < \theta_{i,moy,}^{g}(h)$, *alors :*

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (491)$$

Sinon,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min} \quad (h) \quad (492)$$

- Présence d'un système de rafraichissement adiabatique indirect (Type_Humidification_Ete =2)

Dès lors que *Aut_adiab = 0*, le même algorithme que précédemment est utilisé

En revanche, si *Aut_adiab = 1*, il n'y a pas de recyclage possible, et

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (493)$$

Au final, le taux d'air neuf s'exprime de la manière suivante :

$$Taux_{AN}(h) = \frac{q_{m,air\_neuf}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (494)$$

6.3.3.4.3.4 Débits massiques d'air repris

En mode rafraîchissement par surventilation mécanique ($i_{rafinocc\_activé}$ *(h) = 1):*

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{rep\_rafnoc\_cond}^{g,s} \quad (495)$$

Sinon, selon le type de centrale de ventilation et le mode de régulation des débits, les débits volumiques utilisés diffèrent :

Cas des systèmes double flux (Type_ventilation_mecaniq=1) :

Le recyclage étant absent quelle que soit la période, le débit volumique est le débit repris calculé dans le chapitre bouche_conduit et fonction de l'occupation :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{rep,cond}^{g,s}(h) \quad (496)$$

Cas des centrales à débit constant (Type_ventilation_mecaniq=2) :

Dans ce cas de figure, en mode zone neutre, le débit volumique est le débit nominal pour toute la période d'occupation et de relance et en cas de besoins énergétique constaté dans au moins un des groupes connectés.

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si ($is_{vent}(h\text{-}1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h\text{-}1)=1$ ou si ($is_{vent}(h\text{-}1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h\text{-}1)=1$

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{repCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (497)$$

2. sinon:

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (498)$$

Cas des centrales à débit constant régulées selon la charge (Type_ventilation_mecaniq=3) :

Dans ce cas de figure, en mode zone neutre, le débit volumique est le débit nominal pour toute la période d'occupation et de relance

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1:

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{repCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (499)$$

2. sinon :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (500)$$

Cas des centrales à débit variable (Type_ventilation_mecaniq=4) :

- Absence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete =0)

En mode zone neutre, le débit volumique est systématiquement le débit d'indice « ZN » correspondant au minimum hygiénique tout air neuf.

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600}\rho_{i,fin}^{g}(h-1).q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (501)$$

- Présence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete =1 ou 2)

Dès lors que *Aut_adiab = 0*, le calcul des débits massiques repris est la même que lorsque Type_Humidification_Ete = *0*.

En revanche, si *Aut_adiab = 1*, on utilise les algorithmes suivants pour modéliser le fonctionnement du système en mode rafraichissement adiabatique :

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou si $i_{relance}(h)^{CTA} = 1$ ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1:

Selon la température intérieure au pas de temps précédent, le débit repris évolue entre *Qv_rep_ZN,occ* et *Qv_rep_CH*. Le profil choisi pour cette évolution du débit repris est identique au profil à hystérésis détaillé au 6.3.3.4.3.2.

L'algorithme donnant à chaque pas de temps le débit repris est le suivant :

Si $\theta^{s}_{i,fin} \leq \theta_{hum\_4}$,

$$q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,fin}(h-1).q^{g,s}_{repZN\_cond}(h)$$

Sinon, si $\theta^{s}_{i,fin} \geq \theta_{hum\_2}$,

$$q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,fin}(h-1).q^{g,s}_{repCH\_cond}(h)$$

Sinon,

Si $\theta^{s}_{i,fin} \leq \theta^{s}_{i,fin}$ *(augmentation de température d'air)*

Si $\theta^{s}_{i,fin} \leq \theta_{hum\_1}$,

$$q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) = q^{g,s}_{m,rep,cond}(h-1)$$

Sinon, (cas : $\theta_{hum\_1} < \theta^{s}_{i,fin} < \theta_{hum\_2}$*)*

$$q^{g,s}_{m,repcond}(h) = MAX\left(q^{g,s}_{m,repcond}(h-1); \frac{\rho^{g}_{i,fin}(h-1)}{3600}.\left[q^{g,s}_{repZN,cond}(h) + \left(q^{g,s}_{repCH,cond}(h) - q^{g,s}_{repZN,cond}(h)\right).\frac{\theta^{s}_{i,fin} - \theta_{hum,1}}{\theta_{hum,2} - \theta_{hum,1}}\right]\right) \quad (502)$$

Sinon, (diminution de température opérative)

Si $\theta^{s}_{i,fin} \geq \theta_{hum\_3}$,

$$q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) = q^{g,s}_{m,rep,cond}(h-1)$$

Sinon, (cas : $\theta_{hum\_4} < \theta^{s}_{i,fin} < \theta_{hum\_3}$ *)*

$$q^{g,s}_{m,repcond}(h) = MIN\left(q^{g,s}_{m,repcond}(h-1); \frac{\rho^{g}_{i,fin}(h-1)}{3600}.\left[q^{g,s}_{repZN,cond}(h) + \left(q^{g,s}_{repCH,cond}(h) - q^{g,s}_{repZN,cond}(h)\right).\frac{\theta^{s}_{i,fin} - \theta_{hum,4}}{\theta_{hum,3} - \theta_{hum,4}}\right]\right)$$

2. Sinon :

$$q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,fin}(h-1).q^{g,s}_{repZN\_cond}(h) \quad (503)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q^{g,s}_{m,rep,spec}(h) = MIN\left(0\,; q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) - \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,fin}(h-1).q^{g,s}_{rep,fuites,hvc}\right) \quad (504)$$

Soit ramenés au niveau de la centrale

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s\in s} q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) \quad (505)$$

$$q_{m,rep,spec}(h) = \sum_{g,s \in s} q^{g,s}_{m,rep,spec}(h) \quad (506)$$

6.3.3.4.3.5 Débit massique d'air rejeté

On rééquilibre les débits massiques pour les pas de temps où la fonction de recyclage d'air est utilisée :

Si $Taux_{AN}(h) < 1$, alors,

$$q_{m,rep,cond}(h) = MIN\left(q_{m,rep,cond}(h) ; q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)\right) \quad (507)$$

$$q_{m,air\_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) - \left(q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)\right) \quad (508)$$

Sinon,

$$q_{m,air\_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (509)$$

6.3.3.4.4 Calcul des puissances de ventilateurs

En mode rafraîchissement par surventilation mécanique ($i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$):

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_raf,noc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_rep\_raf,noc} \quad (510)$$

Sinon, les puissances de ventilateurs prennent les valeurs suivantes :

Cas des systèmes double flux (Type_ventilation_mecaniq=1) :

En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_occ}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_occ} \quad (511)$$

Sinon

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_inocc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_inocc} \quad (512)$$

Cas des centrales à débit constant(Type_ventilation_mecaniq=2):

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou en période de relance ($is_{relance}(h) = 1$) ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1 :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_CH}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_CH} \quad (513)$$

2. sinon :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_inocc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \quad (514)$$

Cas des centrales à débit constant régulées selon la charge (Type_ventilation_mecaniq=3):

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$) ou en période de relance ($is_{relance}(h) = 1$) ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_CH}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_CH} \quad (515)$$

2. sinon :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_inocc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \quad (516)$$

Cas des centrales à débit variable (Type_ventilation_mecaniq=4):

- Absence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete =0)

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$), en période de relance ($is_{relance}(h) = 1$) ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1 :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_occ}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_occ} \quad (517)$$

2. Sinon :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_inocc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \quad (518)$$

- Présence d'un système de rafraichissement adiabatique (Type_Humidification_Ete =1 ou 2)

En mode zone neutre, dès lors que *Aut_adiab = 0*, le calcul des puissances et consommations des ventilateurs est la même que lorsque Type_Humidification_Ete =*0*.

En revanche, si *Aut_adiab = 1*, on applique les algorithmes ci-dessous,

1. En occupation au sens de la ventilation ($is_{vent}(h) = 1$), en période de relance ($is_{relance}(h) = 1$) ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$ & $Is_{\_besoin\_ch}(h-1)$)=1 ou si ($is_{vent}(h-1) = 0$) & $Is_{\_besoin\_fr}(h-1)$)=1

$$P_{vent,rep}(h) = P_{vent,rep,ZN,occ} + \left(P_{vent,rep,CH} - P_{vent,rep,ZN,occ}\right) \times \left[0{,}6315.R_{rep}(h)^3 + 0{,}1966.R_{rep}(h)^2 + 0{,}1719.R_{rep}(h)\right]$$
$$P_{vent,sou}(h) = P_{vent,sou,ZN,occ} + \left(P_{vent,sou,CH} - P_{vent,sou,ZN,occ}\right) \times \left[0{,}6315.R_{sou}(h)^3 + 0{,}1966.R_{sou}(h)^2 + 0{,}1719.R_{sou}(h)\right] \quad (519)$$

Avec R_{rep} et R_{sou} les rapports des écarts aux débits de zone neutre calculés comme suit :

$$R_{rep}(h) = \frac{3600.\sum_{g,s} \frac{q^{g,s}_{m,rep,cond}(h)}{\rho^{g,s}_{i,fin}(h-1)} - \sum_{g,s} q^{g,s}_{repZN,cond}(h)}{\sum_{g,s} q^{g,s}_{repCH,cond}(h) - \sum_{g,s} q^{g,s}_{repZN,cond}(h)} \quad (520)$$

$$R_{souf}(h) = \frac{3600.\sum_{g,s} \frac{q^{g,s}_{m,souf,cond}(h)}{\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h-1)} - \sum_{g,s} q^{g,s}_{soufZN,cond}(h)}{\sum_{g,s} q^{g,s}_{soufCH,cond}(h) - \sum_{g,s} q^{g,s}_{soufZN,cond}(h)}$$

2. Sinon :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_inocc}$$
$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \quad (521)$$

6.3.3.4.5 Calcul des températures et humidité sur le circuit de reprise

6.3.3.4.5.1 Température et humidité à l'entrée de la centrale

On définit dans ce paragraphe la température de l'air à l'entrée de la centrale à partir des températures d'air repris au niveau de chaque bouches-conduits.

Pour cela, on commence par appliquer les pertes thermiques des conduits reliant les locaux à cette dernière :

$$\theta^{g,s}_{extr1}(h) = \theta^{g,s}_{i,cond}(h) - (\theta^{g,s}_{i,cond}(h) - \theta^{g,s}_{lnc}(h)).\left(1 - \exp\left(-\frac{H^{g,s}_{cond,rep,ext}}{C_{pa}.\left|q^{g,s}_{m,rep,cond}(h)\right|}\right)\right) \quad (522)$$

Avec :

- $\theta^{g,s}_{i,cond}(h)$ la température d'air repris moyenne entre l'air intérieur et l'air infiltré dans le conduit (en °C):

$$\theta^{g,s}_{i,cond}(h) = \frac{q^{g,s}_{m,rep,spec}(h).\theta^{g,s}_{i,fin}(h-1) + \left(q^{g,s}_{m,rep,cond}(h) - q^{g,s}_{m,spec,rep}(h)\right).\theta^{g,s}_{lnc}(h)}{q^{g,s}_{m,rep,cond}(h)} \quad (523)$$

- $\theta^{g,s}_{lnc}(h)$ la température du local non-chauffé où est situé la centrale (en °C) :

$$\theta^{g,s}_{lnc}(h) = (1 - b^{et}).\theta^{g,s}_{i,fin}(h-1) + b^{et}.\theta_{ext}(h) \quad (524)$$

- $H_{cons,rep,ext}$ le coefficient de transfert thermique externe du conduit de reprise défini dans g,s (en W/k).

Une fois le calcul effectué pour chaque composants bouches-conduits, on calcule la température d'air et l'humidité spécifique de l'air repris entrant dans la centrale. Pour cela, chaque température et humidité d'air extrait est pondérée par le débit massique correspondant :

$$\theta_{ext1}(h) = \frac{\sum^{g,s\in CTA}_{g,s}\left(q^{g,s}_{m,rep,cond}(h).\theta^{g,s}_{extr1}(h)\right)}{q_{m,rep,cond}(h)} \quad (525)$$

$$\omega_{extr1}(h) = \frac{\sum^{g,s\in CTA}_{g,s}\left(q^{g,s}_{m,rep,cond}(h).\omega^{g,s}_{i,fin}(h-1)\right)}{q_{m,rep,rep}(h)} \quad (526)$$

6.3.3.4.5.2 Prise en compte du ventilateur d'extraction

Le ventilateur d'extraction est supposé placé à l'entrée de la centrale, avant l'échangeur et l'éventuel système d'humidification. Il contribue à élever la température de l'air repris selon la relation suivante :

$$\theta_{extr2}(h) = \theta_{extr1}(h) + \frac{\eta_{el,vent} \cdot P_{vent,rep}(h)}{C_{pa} \cdot |q_{m,rep,cond}(h)|} \quad (527)$$

L'humidité spécifique n'est pas affectée par le ventilateur de reprise :

$$\omega_{extr2}(h) = \omega_{extr1}(h) \quad (528)$$

6.3.3.4.5.3 Rafraichissement évaporatif par humidification indirecte (Type_Humidification_Ete = 2)

Le rafraichissement par humidification indirecte consiste à augmenter l'humidité spécifique de l'air extrait de façon quasi-adiabatique, de manière à abaisser sa température.

Le rafraichissement évaporatif indirect n'est actif que

Si Aut_adiab=1 et Type_Humidification_Ete =2

Pour modéliser l'humidificateur, on introduit une procédure itérative désignée FADIAB(Θ,ω) permettant de déterminer l'augmentation d'humidité spécifique maximale théorique qu'il est possible d'atteindre au cours d'une transformation adiabatique à partir du point à température Θ, en °C, et humidité spécifique ω, en kg/kg d'air sec. Il s'agit de déterminer la différence entre l'humidité spécifique de l'air entrant et l'humidité spécifique à la température de bulbe humide.

La procédure FADIAB(Θ,ω) est décrite ci-dessous :

$$\Delta\omega = MAX(0; 0.2545 \times \theta - 0.3636 \times 1000 \times \omega)$$
$$\Omega = (\theta + C - 2.5\Delta\omega) \times \left(A - log(\omega + \Delta\omega)\right) - B$$

Tant que Ω>0, alors

$$\Delta\omega = \Delta\omega + 0.1 \text{ (g/kg as)}$$
$$\Omega_{prev} = \Omega$$
$$\Omega = (\theta + C - 2.5\Delta\omega) \times \left(A - log(\omega + \Delta\omega)\right) - B \quad (529)$$

Fin de boucle

$$FADIAB(\theta, \omega) = \Delta\omega - 0.1\frac{\Omega}{\Omega - \Omega_{prev}}$$

Où A, B et C sont des constantes empiriques sans unités permettant de lier l'humidité à saturation à la température d'air

$$A = 18.8161$$
$$B = 4110.34 \quad (530)$$
$$C = 235.0$$

Connaissant le rendement nominal η_{hum_indir} de l'humidificateur, on calcule l'humidité spécifique et la température d'air en sortie de l'humidificateur de rafraichissement évaporatif :

$$\omega_{extr,hum}(h) = \omega_{extr2}(h) + \eta_{hum,indir} \cdot FADIAB\left(\theta_{extr2}(h); \omega_{extr2}(h)\right) \quad (531)$$

On calcule l'humidité maximale admissible par l'humidification.

$$\omega_{extr,hum,lim}(h) = \eta_{\text{hum,indir}} . \omega_{sat}(h)$$

avec

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{extr2}(h) + 235.0}\right)$$

Si $\omega_{extr,hum,lim}(h) < \omega_{extr,hum}(h)$

$$\omega_{extr,hum}(h) = \omega_{extr,hum,lim}(h) \quad (536)$$

Sinon, si $\omega_{extr,hum,lim}(h) < \omega_{extr2}(h)$

$$\omega_{extr,hum}(h) = \omega_{extr,hum,lim}(h)$$

Dans tous les cas on a :

$$\omega_{extr3}(h) = \omega_{extr,hum}(h)$$

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) - \frac{L_v}{C_{pa}} . \left(\omega_{extr,hum}(h) - \omega_{extr2}(h)\right)$$

Sinon,

en l'absence d'humidification indirecte, les propriétés de l'air extrait ne sont pas modifiées à cette étape :

$$\omega_{extr3}(h) = \omega_{extr2}(h) \quad (537)$$

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) \quad (538)$$

Le débit d'eau fourni à l'air est calculé par :

$$q^{pompe}_{m,eau\_été}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \times MAX\left(\omega_{extr3}(h) - \omega_{extr,2}(h); 0\right) \quad (539)$$

6.3.3.4.6 Prise en compte de l'échangeur air extrait/air neuf et sa régulation

6.3.3.4.6.1 Température d'air neuf

Le débit d'air neuf ayant été fixé précédemment, la température d'air neuf en cas de présence d'un système de puits hydraulique ou climatique en amont de la centrale est recalculée avec les nouveaux débits d'air neuf:

- Si $I_{climatique}$=0 et $I_{hydraulique}$=0, absence de puits climatique ou hydraulique :

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (540)$$

- Si $I_{climatique}$>0 vrai, présence d'un puits climatique :

Dans ce cas, la température d'air neuf est égale à la température de sortie du puits climatique :

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{airout}{}^{pc}(h) \quad (541)$$

- Si $I_{hydraulique}$>0 vrai, présence d'un puits hydraulique :

A l'issue du calcul de la température de sortie d'eau du puits hydraulique (voir C_Ven_Puits hydraulique), on calcule la température d'air neuf corrigée suite au passage de l'air dans la batterie eau-air.

Si $Q_{PH}(h)>0$, alors le puits hydraulique est en fonctionnement et l'air entrant passe par la batterie eau-air. La température d'air en sortie du puits hydraulique est la suivante :

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{ext}(h) + \varepsilon_{batt-PH}(h).\left(\theta_{\text{eau-out}}{}^{\text{PH}}(h) - \theta_{ext}(h)\right) \quad (542)$$

Avec,

$$\begin{aligned} &\text{En saison de chauffage } (Aut_{ch}(h) = 1): \varepsilon_{batt-PH}(h) = \varepsilon_{batt-PH-ch} \\ &\text{Hors saison de chauffage } (Aut_{ch(h)} < 1): : \varepsilon_{batt-PH}(h) = \varepsilon_{batt-PH-fr} \end{aligned} \quad (543)$$

Sinon

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (544)$$

En présence d'un puits hydraulique, la puissance de l'échangeur $W_{elec}^{PH,S}$ est transmise.

6.3.3.4.6.2 Gestion du bypass de l'échangeur

Ce paragraphe n'est appelé que si l'échangeur est muni d'une fonction de bypass de l'échangeur statique, ou d'arrêt de l'échangeur à roue, pilotée en fonction des température extérieure et intérieure.

En mode rafraîchissement par surventilation mécanique ($i_{rafinocc\_activé}$ *(h) = 1):*

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (545)$$

Par ailleurs, l'échangeur ne doit pas être bypassé lorsque le rafraichissement adiabatique indirect est utilisé :

Si Type_Humidification_Ete =2 et Aut_adiab=1 alors,

$$\delta_{bypass}(h) = 0 \quad (546)$$

Sinon, l'activation du bypass de l'échangeur est commandée par trois conditions à respecter simultanément :

- la température d'air neuf est inférieure à la température intérieure moyenne, $\theta_{i,fin}^{g}$, (possibilité de refroidir),
- la température d'air neuf est supérieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,bypass,hiver}$ pour la saison de chauffage et $\theta_{ext,bypass,été}$ hors saison de chauffage,
- la température intérieure est supérieure à une température de consigne, notée $\theta_{int,bypass,hiver}$ pour la saison de chauffage et $\theta_{int,bypass,été}$ hors saison de chauffage,

L'algorithme en lui-même est le suivant (avec en exemple l'indice été):

Si $\theta_{an}(h) < \theta_{i,fin}^{gr}(h-1)$ *et* $\theta_{an}(h) > \theta_{ext,bypass,été}$ *et* $\theta_{i,fin}^{gr}(h-1) > \theta_{int,bypass,été}$, alors,

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (547)$$

Sinon,

$$\delta_{bypass}(h) = 0 \quad (548)$$

6.3.3.4.6.3 Calcul de l'efficacité et de la consommation électrique de l'échangeur

Si $\delta_{bypass}(h) = 1$, alors, le bypass de l'échangeur est activé, l'échangeur n'est pas pris en compte. De même si type_échangeur=0, aucun échangeur n'est présent. On a dans ces deux cas:

$$\varepsilon(h) = 0$$
$$W_{ech}(h) = 0 \text{ [Wh]} \quad (549)$$

Sinon,

$$W_{ech}(h) = P_{ech} \quad (550)$$

Cas type échangeur = 1 : prise en compte simplifiée de l'échangeur

L'efficacité appliquée est constante égale au paramètre défini en préprocesseur.

$$\varepsilon(h) = \varepsilon_t \quad (551)$$

Cas type_ échangeur = 2 : prise en compte détaillée de l'échangeur

$$C_{air\_rejeté}(h) = C_{pa} \times q_{m,air\_extrait}(h)$$
$$C_{air\_neuf}(h) = C_{pa} \times q_{m,air\_neuf}(h)$$
$$C(h) = \frac{min(C_{air\_neuf}(h) ; C_{air\_rejeté}(h))}{max(C_{air\_neuf}(h) ; C_{air\_rejeté}(h))} \quad (552)$$

$$NUT(h) = \frac{UA}{min(C_{air\_neuf}(h) ; C_{air\_rejeté}(h))} \quad (553)$$

- Cas $id_{type\_echangeur-detaillé}$ = 1 : écoulements à contre-courant

Si C(h) = 1, alors :

$$\varepsilon(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h)+1} \quad (554)$$

Sinon

$$\varepsilon\ (h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-C(h))}}{1 - C(h).e^{-NUT(h).(1-C(h))}} \quad (555)$$

- Cas idtype_echangeur_détaillé = 2 : écoulements à courants parallèles

$$\varepsilon(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1+C(h))}}{1 + C(h)} \quad (556)$$

- Cas idtype_echangeur_détaillé = 3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés

$$\varepsilon(h) = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NUT(h)}} + \frac{C(h)}{1 - e^{-NUT(h).C(h)}} - \frac{1}{NUT(h)}} \quad (557)$$

Au final, l'efficacité ramenée aux écarts de températures est la suivante :

$$\varepsilon(h) = \frac{MIN\left(C_{air\_neuf}(h)\,;\,C_{air\_rejeté}(h)\right)}{C_{air\_neuf}(h)} \times \varepsilon(h) \qquad (558)$$

6.3.3.4.6.4 Prise en compte de la sécurité antigel de l'échangeur (Is_antigel = 1)

Le présent paragraphe n'est pris en compte qu'en présence d'un échangeur de chaleur à efficacité non-nulle. L'algorithme n'est appelé qu'au cours de la saison de chauffage effective ($Aut_{ch,eff}(j)=1$).

Si $Aut_{ch,eff}(j)=1$, $\varepsilon(h)>0$ et Is_antigel=1(présence de l'antigel), alors

Pour empêcher le givrage de l'échangeur, la fonction antigel fait en sorte que la température de l'air en sortie coté rejet ne doit pas descendre en dessous d'une certaine valeur, $\theta sech_{LIM}$. Pour éviter cela, l'air neuf est préchauffé par le système dès lors que sa température descend sous un seuil $\theta e_{ech,min}(h)$, qui peut être calculé selon la relation suivante :

$$\theta e_{ech,min}(h) = \theta_{extr3}(h) + \frac{\left(\theta\, sech_{repLIM} - \theta_{extr3}(h)\right)}{\varepsilon(h)} \qquad (559)$$

Note : si ε est nul, l'algorithme correspondant à la sécurité antigel n'est pas appelé.

Les valeurs par défaut suivantes peuvent être adoptées pour $Tsech_{LIM}$:

Type d'échangeur	**Valeur par défaut pour $Tsech_{LIM}$**
Echangeurs rotatifs en bâtiment non résidentiel	-5 °C
Echangeurs à plaques en bâtiment non résidentiel	0 °C
Autres cas	5°C

Tableau 63: Valeurs par défaut pour le paramètre $Tsech_{LIM}$

La température d'entrée de l'échangeur du réseau d'amenée d'air de soufflage est alors définie comme suit :

$$\theta_{souf,ag}(h) = MAX\left(\theta_{AN}(h)\,;\,\theta\, e_{ech,min}\quad(h)\right) \qquad (560)$$

Le besoin d'énergie pour assurer la fonction antigel est le suivant :

$$W_{ag}(h) = C_{pa} \times q_{m,Air\_Neuf}(h) \times MAX\left(0\,;\,\theta_{souf,ag}(h) - \theta_{AN}(h)\right) \qquad (561)$$

Si Is_antigel=0 (absence de l'antigel) ou hors période de chauffage effective (**$Aut_{ch,eff}(j)=0$**), on considère alors que lorsqu'un risque de givrage est identifié, l'échangeur est bypassé :

$$\text{Si } \theta_{AN}(h) < \theta e_{ech,min}(h) \text{ alors}$$

$$\epsilon(h) = 0 \qquad (562)$$

la température de soufflage est la température d'air neuf :

$$\theta_{souf,ag}(h) = \theta_{AN}(h) \qquad (563)$$

Par ailleurs,

$$W_{ag}(h) = 0\ (\mathrm{W}) \qquad (564)$$

6.3.3.4.6.5 Calcul des températures et humidité d'air soufflé et rejeté en sortie de l'échangeur

Les températures d'air soufflé $\theta_{souf1}(h)$ et rejeté $\theta_{air,rejeté}(h)$ en sortie de l'échangeur sont calculées comme suit :

$$\theta_{souf1}(h) = \theta_{souf,ag}(h) + \varepsilon(h) \cdot \left(\theta_{extr3}(h) - \theta_{souf,ag}(h)\right) \qquad (565)$$

$$\theta_{air,rejeté}(h) = \theta_{extr3}(h) - \varepsilon(h) \cdot \left(\theta_{extr3}(h) - \theta_{souf,ag}(h)\right) \quad (566)$$

Il est fait l'hypothèse d'aucun échange d'humidité au sein de l'échangeur. Ainsi,

$$\omega_{souf1}(h) = \omega_{ext}(h) \quad (567)$$

6.3.3.4.7 Prise en compte de la boite de mélange

La température $\theta_{souf,mel}$ et l'humidité spécifique $\omega_{souf,mel}$ de l'air en sortie de la boîte de mélange sont calculées comme suit :

$$\theta_{souf,mel}(h) = \frac{\left(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h)\right).\theta_{extr2}(h) + q_{m,air\_neuf}(h).\theta_{souf1}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (568)$$

$$\omega_{souf,mel}(h) = \frac{\left(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h)\right).\omega_{extr2}(h) + q_{m,air\_neuf}(h).\omega_{souf1}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (569)$$

En l'absence de boîte de mélange :

$$\theta_{souf,mel}(h) = \theta_{souf,1}(h) \quad (570)$$

$$\omega_{souf,mel}(h) = \omega_{souf,1}(h) \quad (571)$$

6.3.3.4.8 Prise en compte du ventilateur de soufflage

Le ventilateur de soufflage est considéré comme situé entre la boite de mélange et la batterie de préchauffage. Il contribue à élever la température de l'air soufflé, selon la relation suivante :

$$\theta_{souf2}(h) = \theta_{souf,mel}(h) + \frac{\eta_{el,vent} \cdot P_{vent,sou}(h)}{C_{pa} \cdot q_{m,sou,cond}(h)} \quad (572)$$

Si $q_{m,sou,cond}(h)$ est nul (inférieur à 1.10^{-6} kg/s), alors θ_{souf2} est prise égale à $\theta_{souf,mel}$.

L'humidité spécifique n'est pas affectée par le ventilateur de soufflage :

$$\omega_{souf,2}(h) = \omega_{souf,mel}(h) \quad (573)$$

6.3.3.4.9 PRE-Traitement de l'air en saison de chauffage ($Aut_{ch}(j)>0$)

Ce chapitre ne s'applique qu'aux systèmes de ventilation double flux et aux CTA à débits et température constantes n'assurant que les fonctions de prétraitement de l'air **(Type_ventilation_mecaniq=1 ou 2) et en l'absence d'activation de la surventilation mecanique.**

La batterie de préchauffage et l'humidification d'hiver ne sont prises en compte qu'au cours de la saison de chauffage effective ($Aut_{,ch,}(j) = 1$). En mode actif, le fonctionnement est continu sur un pas de temps, on a

$$\tau_{CH/FR} = 100\% \quad (574)$$

6.3.3.4.9.1 Batterie de préchauffage

La régulation de la batterie de préchauffage repose uniquement sur la température extérieure.

Si $\theta_{ext}(h) < T_{ex,préchaud}$ alors, la fonction préchauffage est activée. La température de sortie de la batterie de préchauffage et la quantité d'énergie à fournir pour préchauffer l'air sont calculées comme suit :

$$\theta_{souf,prechaud}(h) = MAX\left(T_{cons,prechaud}; \theta_{souf2}(h)\right) \text{ (°C)} \quad (575)$$

$$Q_{prechaud}(h) = C_{pa}.\, q_{m,sou,cond}(h).\, MAX\left(\theta_{souf,prechaud}(h) - \theta_{souf2}(h); 0\right) \text{ (Wh)} \quad (576)$$

Sinon,

$$\theta_{souf,prechaud}(h) = \theta_{souf2}(h) \quad (577)$$

$$Q_{prechaud}(h) = 0 \text{ (Wh)} \quad (578)$$

6.3.3.4.9.2 Humidificateur en fonctionnement hiver (Is_ChaudHR = 1 : oui)

La fonction humidification est considérée active uniquement au cours de la saison de chauffage ($Aut_{ch}(j)=1$). On distingue deux typologies d'humidificateurs pour la modélisation :

- à vapeur
- à pulvérisation, ruissellement ou évaporation.

Ainsi :

Cas d'un humidificateur à vapeur (Type_Humidification = 0) :

On calcule l'humidité spécifique à saturation $\omega_{lim,hum}$ en considérant que l'humidification se fait de manière isotherme. La relation utilisée est la relation empirique suivante :

$$\omega_{lim,hum}(h) = 0{,}001.\, exp\left(A - \frac{B}{\theta_{souf,prechaud}(h) + C}\right) \quad (579)$$

Où A, B et C sont des constantes empiriques définies dans l'équation (530).

Soit w_{cons}, la consigne d'humidification sur l'air soufflé en kg/kg d'air sec et $w_{souf,2}(h)$, l'humidité spécifique de l'air entrant dans l'humidificateur. L'humidité spécifique en sortie de l'humidificateur $w_{souf,3}(h)$ est calculée de la manière suivante :

$$\omega_{souf3}(h) = MIN\left[\omega_{lim,hum}(h); MAX\left(\omega_{souf2}(h); \omega_{cons}\right)\right] \quad (580)$$

La température d'air est considérée comme non-affectée par le passage dans l'humidificateur à vapeur :

$$\theta_{souf3}(h) = \theta_{souf,prechaud}(h) \text{ (Wh)} \quad (581)$$

Enfin, la quantité d'énergie à fournir pour l'humidification de l'air soufflé est la suivante :

$$Q_{HR}(h) = q_{m,sou,cond}(h).\, \mathrm{L}_v.\, \mathrm{MAX}\left(\omega_{souf3}(h) - \omega_{souf2}(h); 0\right) \text{ (Wh)} \quad (582)$$

Cas d'humidificateur à pulvérisation, ruissellement ou évaporation (Type_Humidification = 1) :

Dans ce second cas de figure, le passage dans l'humidificateur est considéré comme une transformation adiabatique. L'humidité spécifique limite $\omega_{lim,hum}$ que peut atteindre l'air sortant est alors définie par rapport à l'humidité atteinte à la température de bulbe humide. On applique la procédure FADIAB décrite en formule (529) pour la déterminer :

$$\omega_{lim,hum}(\mathrm{h}) = \omega_{souf2}(\mathrm{h}) + \eta_{\mathrm{hum}}.\, \mathrm{FADIAB}\left(\theta_{souf,prechaud}(\mathrm{h}), \omega_{souf,2}(\mathrm{h})\right) \quad (583)$$

Où η_{hum} est l'efficacité de l'humidificateur, fixée conventionnellement à 80%.

On en déduit l'humidité spécifique puis la température d'air en sortie d'humidificateur :

$$\omega_{souf3}(h) = MIN\left[\omega_{lim,hum}(h); MAX\left(\omega_{souf2}(h); \omega_{cons}\right)\right] \quad (584)$$

$$\theta_{\text{souf,3}}(\text{h}) = \theta_{\text{souf,prechaud}}(\text{h}) - \frac{\text{Lv}}{Cpa}.\left(\omega_{souf3}(h) - \omega_{souf2}(h)\right) \quad (585)$$

Par ailleurs, la quantité d'énergie pour le processus d'humidification en lui-même est nulle :

$$Q_{HR}(h) = 0 \text{ (Wh)} \quad (586)$$

Le débit d'eau fourni à l'air dans ce cas est calculé par :

$$q^{pompe}_{m,eau\_hiver}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \times MAX\left(\omega_{souf,3}(h) - \omega_{souf,2}(h); 0\right) \quad (587)$$

En l'absence d'humidificateur, ou en dehors de la saison de chauffage ($Aut_{ch}(j)=0$), la température et l'humidité spécifique de l'air sortant sont égales à celles de l'air entrant :

$$\theta_{\text{souf,3}}(\text{h}) = \theta_{\text{souf,prechaud}}(\text{h}) \quad (588)$$

$$\omega_{souf,3}(h) = \omega_{souf2}(h) \quad (589)$$

$$Q_{HR}(h) = 0 \text{ (Wh)} \quad (590)$$

6.3.3.4.10 Pretraitement de l'air en saison de refroidissement ($Aut_{fr}(j) >0$)

Ce chapitre ne s'applique qu'aux systèmes de ventilation double flux et aux CTA à débits et température constantes n'assurant que les fonctions de prétraitement de l'air **(Type_ventilation_mecaniq=1 ou 2) et en l'absence d'activation de la surventilation mecanique.**

En mode actif, le fonctionnement est continu sur un pas de temps, on a

$$\tau_{CH/FR} = 100\% \quad (591)$$

La présence d'une fonction de rafraichissement évaporatif par humidification directe n'est pas compatible avec la présence d'une batterie de prérefroidissement (voir conditions sur les paramètres). De fait, les algorithmes décrits ici et au §6.3.3.4.11 ne peuvent pas avoir lieu sur un même pas de temps donné.

La batterie de prérefroidissement de la centrale de traitement d'air ne peut être introduite que dans le cas d'une centrale associée à au moins un groupe climatisé.

La régulation de la batterie de prérefroidissement repose uniquement sur la température extérieure.

Si $\theta_{ext}(h) > T_{ex,préfroid}$ alors, la fonction prérefroidissement est activée. La procédure suivante est appliquée.

La batterie à eau froide ou à détente directe est supposée fonctionner à température constante. Ainsi, la température de surface de la batterie, $\theta_{batt}(h)$, peut être calculée en fonction des conditions nominales définies au niveau des réseaux de distribution. On suppose que l'écart entre la température de fluide circulant à l'intérieur de la batterie et l'air soufflé est de 2°C. Ainsi :

$$\theta_{batt}(h) = \theta_{dim,fr} + 2°C \quad (592)$$

Où $\theta_{dim,fr}$ est la température nominale de fluide circulant dans la batterie ou l'évaporateur en °C.

On déduit de cela le facteur de bypass équivalent de la batterie, BP(h) :

$$BP(h) = MIN\left(1; \frac{T_{cons,prefroid} - \theta_{batt}(h)}{\theta_{souf2}(h) - \theta_{batt}(h)}\right) \quad (593)$$

Ensuite, on calcule l'humidité spécifique de saturation de l'air à la température de surface de la batterie θ_{batt} :

$$\omega_{sat}(h) = 0{,}001.exp\left(A - \frac{B}{\theta_{batt}(h) + C}\right) \quad (594)$$

La variation d'humidité spécifique de l'air au travers de la batterie de prérefroidissement est la suivante :

$$\Delta\omega_{fr}(h) = MIN\left(\omega_{sat}(h) - \omega_{souf2}(h); 0\right).(1 - BP(h)) \quad (595)$$

Au final, on en déduit la température et l'humidité spécifique en sortie de la batterie de prérefroidissement :

$$\omega_{souf,3}(h) = \omega_{souf,2}(h) + \Delta\omega_{fr}(h) \quad (596)$$

$$\theta_{souf,3}(h) = \theta_{souf,2}(h) - MAX\left(\theta_{souf2}(h) - T_{cons,prefroid}; 0\right) \quad (597)$$

La quantité d'énergie à fournir pour la fonction prérefroidissement est calculée comme suit :

$$Q_{prefroid}(h) = q_{m,sou,cond}(h).\left[C_{pa}.MAX\left(\theta_{souf3}(h) - \theta_{souf2}(h); 0\right) + L_v.\Delta\omega_{fr}(h)\right] \quad \text{(Wh)} \quad (598)$$

Sinon, la fonction de prérefroidissement est désactivée. On a alors :

$$\theta_{souf,3}(h) = \theta_{souf,2}(h) \quad (599)$$

$$\omega_{souf,3}(h) = \omega_{souf,2}(h) \quad (600)$$

$$Q_{prefroid}(h) = 0 \text{ (Wh)} \quad (601)$$

6.3.3.4.11 Rafraichissement évaporatif de l'air par humidification directe (Type_Humidification_Ete = 1)

Le rafraichissement par humidification directe consiste à augmenter l'humidité spécifique de l'air soufflé de façon quasi-adiabatique, de manière à abaisser sa température.

Le rafraichissement évaporatif direct n'est actif que si Aut_adiab=1 et Type_Humidification_Ete =1

Par ailleurs on vérifie dans un premier temps que l'air intérieur n'est pas trop humide. Une limite de 70% d'humidité relative est fixée pour se prémunir des éventuels risques.

Ainsi,

$$\omega_{i,fin}^{gr,sat}(h-1) = 10^{-3} \times exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{i,fin}^{gr}(h-1) + 235.0}\right) \quad (602)$$

Connaissant le rendement nominal de l'humidificateur direct η_{humdir}, on peut déterminer l'humidité spécifique et la température en sortie de l'humidificateur à partir de la procédure FADIAB décrite au 6.3.3.4.5.3.

Si Aut_adiab=1 et Type_Humidification_Ete =1

Si pour tous les groupes reliés $\omega_{i,fin}^{gr}(h-1) < 0.7 \times \omega_{i,fin}^{gr,sat}(h-1)$ alors,

$$\omega_{souf,hum}(h) = \omega_{souf,2}(h) + \eta_{\text{humdir}} . \text{FADIAB}\left(\theta_{souf2}(h); \omega_{souf,2}(h)\right) \quad (603)$$

On calcule l'humidité maximale admissible par l'humidification.

$$\omega_{souf,hum,lim}(h) = \eta_{\text{humdir}} . \omega_{sat}(h) \quad (604)$$

avec

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{souf2}(h) + 235.0}\right) \quad (605)$$

Si $\omega_{souf,hum,lim}(h) < \omega_{souf,hum}(h)$

$$\omega_{souf,hum}(h) = \omega_{souf,hum,lim}(h) \quad (606)$$

Sinon, si $\omega_{souf,hum,lim}(h) < \omega_{souf,2}(h)$

$$\omega_{souf,hum}(h) = \omega_{souf,2}(h) \quad (607)$$

Dans tous les cas on a :

$$\omega_{souf3}(h) = \omega_{souf,hum}(h) \quad (608)$$

$$\theta_{souf3}(h) = \theta_{souf2}(h) - \frac{L_v}{C_{pa}}.\left(\omega_{souf3}(h) - \omega_{souf,2}(h)\right) \quad (609)$$

Sinon, l'humidité et la température ne sont pas modifiés à ce stade,

$$\omega_{souf3}(h) = \omega_{souf2}(h) \quad (610)$$

$$\theta_{souf3}(h) = \theta_{souf2}(h) \quad (611)$$

Le débit d'eau fourni à l'air est calculé par :

$$q^{pompe}_{m,eau\_ete}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \times MAX\left(\omega_{souf,3}(h) - \omega_{souf,2}(h); 0\right) \quad (612)$$

6.3.3.4.12 Calcul de la température d'air souffle dans les locaux

En mode zone neutre, la température et l'humidité spécifique en sortie de la centrale sont prises égales à celles en sortie de l'humidificateur, de la batterie de pré-refroidissement ou du dispositif de rafraichissement adiabatique :

$$\theta_{air,souffle}(h) = \theta_{souf,3}(h) \quad (613)$$

$$\omega_{air,souffle}(h) = \omega_{souf,3}(h) \quad (614)$$

On prend ensuite en compte l'impact des pertes thermiques des conduits d'amenée d'air sur la température de soufflage dans les locaux. Ce calcul intervient pour chaque composant bouches-conduits g,s associé à la centrale :

$$\theta^{g,s}_{air,souffle}(h) = \theta_{airsouffle}(h) - \left(\theta_{airsouffle}(h) - \theta^{g,s}_{lnc}(h)\right).\left(1 - \exp\left(-\frac{H^{g,s}_{cons,souf,ext}}{C_{pa}.q^{g,s}_{m,sou,cond}(h).}\right)\right) \quad (615)$$

Avec $H_{cond,souf,ext}$ le coefficient de transfert thermique entre l'air à l'intérieur du conduit et l'ambiance (en W/K), calculé au §6.3.3.3.2.

Par ailleurs, l'humidité spécifique de l'air soufflé dans les locaux est égale à celle en sortie de centrale :

$$\omega^{g,s}_{air,souffle}(h) = \omega_{air,souffle}(h) \quad (616)$$

La masse volumique de l'air soufflé est calculée par la relation suivante :

$$\rho^{g,s}_{air,souffle}(h) = \frac{\rho_{ref}.\left(273 + \theta_{ref}\right)}{273 + \theta^{g,s}_{air,souffle}(h)} \quad (617)$$

6.3.3.4.13 Consommation des ventilateurs et des pompes d'humidificateur

La consommation des ventilateurs de la centrale est calculée comme suit :

$$W_{vent}(h) = P_{vent,rep}(h) + P_{vent,sou}(h) \quad (618)$$

En présence d'un dispositif d'humidification adiabatique sa consommation est estimée par :

Si Type_Humidification_Ete =1 ou 2 et Aut_adiab=1

$$W_{aux,adiab}(h) = \frac{\left(\text{-}0.0057 \times q_{m,eau\_ete}^{pompe}(h)^2 \text{ - } 0.7842 \times q_{m,eau\_ete}^{pompe}(h) \ + \ 18778\right) \times \frac{q_{m,eau\_ete}^{pompe}(h)}{3600}}{\left(\text{-3E-07} \times q_{m,eau\_ete}^{pompe}(h)^2 \ + \ 0.0004 \times q_{m,eau\_ete}^{pompe}(h) \ + \ 0.0031\right)} \quad (619)$$

Sinon

$$W_{aux,adiab}(h) = 0 \quad (620)$$

En présence d'un dispositif d'humidification d'hiver à ruissellement, sa consommation est estimée par :

Si Is_ChaudHR=1 et Type_Humidification=1

$$W_{aux,chaudHR}(h) = \frac{\left(\text{-}0.0057 \times q_{m,eau\_hiver}^{pompe}(h)^2 \text{ - } 0.7842 \times q_{m,eau\_hiver}^{pompe}(h) \ + \ 18778\right) \times \frac{q_{m,eau\_hiver}^{pompe}(}{3600}}{\left(\text{-3E-07} \times q_{m,eau\_hiver}^{pompe}(h)^2 \ + \ 0.0004 \times q_{m,eau\_hiver}^{pompe}(h) \ + \ 0.0031\right)} \quad (621)$$

Sinon

$$W_{aux,chaudHR}(h) = 0 \quad (622)$$

On ramène ensuite la consommation à chacun des groupes desservis au prorata des débits massiques soufflés par la centrale :

$$W_{aux,v}{}^{gr}(h) = \frac{\sum_{g,s}^{g,s \in gr} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \cdot \left(W_{vent}(h) + W_{ech}(h) + W_{aux,adiab}(h) + W_{aux,chaudHR}(h) + W_{elec}^{PH,S}(h)\right) \quad (623)$$

6.3.3.5 *Modélisation au pas de temps horaire en mode actif (chauffage ou refroidissement activés)*

Le calcul en mode actif n'est autorisé que pour les CTA à conditions variables en fonction de la charge thermique (Type_ventilation_mecaniq=3 ou 4), hors période de rafraichissement par surventilation mécanique. Il intervient après calculs des besoins du groupe en chauffage et refroidissement, ainsi que des températures intérieures. L'ensemble de la modélisation des réseaux aérauliques et des différents sous-composants de la centrale doit ainsi être revu.

Par ailleurs, dans le cas ou Type_Humidification_Ete =*1* ces algorithmes ne sont pas appliqués en période de refroidissement (Aut_{fr}=1).

6.3.3.5.1 Apport ou déperdition par la ventilation en zone neutre :

Les déperditions (ou apports) thermiques par insufflation d'air en mode zone neutre sont calculées sur la base des résultats de la première partie et de la température d'air moyenne obtenue dans le modèle thermique :

$$P_{ZN}(h) = \sum_{g,s} \left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{air,soufflé}(h)\right).q^{g,s}_{m,sou\_spec}(h).\left(\theta^{g,s}_{air,soufflé}(h) - \theta^{g}_{i,moy}(h)\right) \quad (624)$$

6.3.3.5.2 Calcul des débits massiques d'air

6.3.3.5.2.1 Masse volumique d'air repris

La masse volumique de l'air intérieur est la suivante :

$$\rho^{g}_{i,moy}(h) = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+\theta^{g}_{i,moy}(h))} \quad (625)$$

6.3.3.5.2.2 Débits massiques soufflés

Le débit en mode actif (indice CH) est toujours utilisé :

$$q^{g,s}_{m,sou,cond(recalcule)}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air\_souffle}(h).q^{g,s}_{souCH\_cond}(h) \quad (626)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q^{g,s}_{m,sou,spec(recalculé)}(h) = MAX\left(0\,;q^{g,s}_{m,sou,cond(recalcule)}(h) - \frac{1}{3600}\rho^{g,s}_{air,soufle}(h-1).q^{g,s}_{sou,fuites,hvc}\right) \quad (627)$$

Soit ramenés au niveau de la centrale :

$$q_{m,sou,cond(recalculé)}(h) = \sum_{g,s\in s} q^{g,s}_{m,sou,cond(recalculé)}(h) \quad (628)$$

$$q_{m,sou,spec(recalculé)}(h) = \sum_{g,s\in s} q^{g,s}_{m,sou,spec(recalculé)}(h) \quad (629)$$

6.3.3.5.2.3 Débit massique d'air neuf

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les données recalculées sont $Taux_{AN(recalculé)}(h)$ et $q_{m,air\_neuf(recalculé)}(h)$.

6.3.3.5.2.4 Débits massiques d'air repris

Le débit en mode actif (indice CH) est toujours utilisé :

$$q^{g,s}_{m,rep,cond(recalcule)}(h) = \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,moy}(h).q^{g,s}_{repCH\_cond}(h) \quad (630)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q^{g,s}_{m,rep,spec(recalculé)}(h) = MIN\left(0\,;q^{g,s}_{m,rep,cond(recalculé)}(h) - \frac{1}{3600}\rho^{g}_{i,fin}(h-1).q^{g,s}_{rep,fuites,hvc}\right) \quad (631)$$

Soit ramenés au niveau de la centrale

$$q_{m,rep,cond(recalculé)}(h) = \sum_{g,s\in s} q^{g,s}_{m,rep,cond(recalculé)}(h) \quad (632)$$

$$q_{m,rep,spec(recalculé)}(h) = \sum_{g,s\in s} q^{g,s}_{m,rep,spec(recalculé)}(h) \quad (633)$$

6.3.3.5.2.5 Débit massique d'air rejeté

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.3.5 en utilisant cette fois les débits recalculés précédemment. Les variables recalculées sont $q_{m,rep,cond(recalculé)}$ et $q_{m,air\_extrait(recalculé)}$.

6.3.3.5.3 Calcul des puissances de ventilateurs

Les puissances en mode en mode actif (indice CH) sont toujours utilisées :

$$P_{vent\_rep(recalculé)}(h) = P_{vent\_rep\_CH}$$
$$P_{vent\_sou(recalculé)}(h) = P_{vent\_sou\_CH} \quad (634)$$

6.3.3.5.4 Calcul des températures et humidité sur le circuit de reprise

6.3.3.5.4.1 Températures et humidité à l'entrée de la centrale

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.5.1 sauf que l'on utilise $\theta^{g}_{i,moy}(h)$ et $\omega^{g}_{i,moy}(h)$ au lieu de $\theta^{g}_{i,fin}(h-1)$ et $\omega^{g}_{i,fin}(h-1)$ et les débits recalculés $q^{g,s}_{m,rep,cond(recalculé)}(h)$, $q^{g,s}_{m,rep,spec(recalculé)}(h)$, $q_{m,rep,cond(recalculé)}(h)$ et $q_{m,rep,spec(recalculé)}(h)$. Les variables recalculées sont $\theta_{i,cond(recalculé)}{}^{g,s}(h)$, $\theta_{Inc(recalculé)}{}^{g,s}(h)$, $\theta_{extr1(recalculé)}{}^{g,s}(h)$, $\theta_{extr1(recalculé)}(h)$ et $\omega_{extr1(recalculé)}(h)$.

6.3.3.5.4.2 Prise en compte du ventilateur d'extraction

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.8 sauf que l'on utilise $\theta_{extr1(recalculé)}(h)$, $\omega_{extr1(recalculé)}(h)$, $P_{vent,rep(recalculé)}(h)$ et $q_{m,repcond(recalculé)}(h)$. Les variables recalculées sont $\theta_{extr2(recalculé)}(h)$ et $\omega_{extr2(recalculé)}(h)$.

6.3.3.5.4.3 Rafraichissement évaporatif par humidification indirecte (Type_HR_été=2)

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.5.3 mais on utilise, les paramètres $\theta_{extr2(recalculé)}$ (h) et $\omega_{extr2(recalculé)}$(h) pour recalculer $\theta_{extr3(recalculé)}$ (h) et $\omega_{extr3(recalculé)}$(h). Le débit d'eau $q^{pompe}_{m,eau\_ete(recalculé)}(h)$ est recalculé à partir de $q_{m,rep,cond(recalculé)}(h)$

6.3.3.5.5 Prise en compte de l'échangeur air extrait/air neuf et sa régulation

6.3.3.5.5.1 Température d'air neuf

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. La température d'air neuf $\theta_{AN\ (recaculée)}$est recalculée en fonction des débits d'air neuf recalculés.

En cas de présence d'un puits hydraulique, la consommation recalculée de l'échangeur du puits hydraulique, $W^{PH,S}_{elec(rec)}$, est comptabilisée.

6.3.3.5.5.2 Gestion du bypass de l'échangeur:

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.6.2 en utilisant la valeur de $\theta_{AN\ (recaculée)}$. La variable $\delta_{bypass(recalculée)}$(h) est recalculée.

6.3.3.5.5.3 Calcul de l'efficacité et de la consommation électrique de l'échangeur:

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.6.3 sauf que l'on utilise $\delta_{bypass(recalculée)}$(h) , $q_{m,air\_neuf(recalculé)}$ et $q_{m,air\_extrait(recalculé)}$ pour calculer $\varepsilon_{(recalculé)}$ et $W_{ech(recalculé)}$.

6.3.3.5.5.4 Prise en compte de la sécurité antigel de l'échangeur ($is_{antigel}$ = 1):

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.6.4 en utilisant $\theta_{extr3(recalculé)}$(h), $\theta_{AN\ (recaculée)}$., $\varepsilon_{(recalculé)}$ et $q_{m,air\_neuf(recalculé)}$. Les variables calculées sont $\theta_{souf,ag(recalculé)}$(h) et $W_{ag\ (recalculé)}$(h).

6.3.3.5.5.5 Calcul des températures et humidité d'air soufflé et rejeté en sortie de l'échangeur :

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.6.5 en utilisant $\theta_{extr3(recalculé)}$(h), $\varepsilon_{(recalculé)}$, $\theta_{souf,ag(recalculé)}$(h). Les variables calculées sont $\theta_{souf1(recalculé)}$(h) et $\theta_{air,rejeté(recalculé)}$(h). Le calcul de l'humidité reste inchangé.

6.3.3.5.6 Prise en compte de la boîte de mélange :

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.7 en utilisant $\theta_{souf1(recalculé)}$(h), $\theta_{extr2(recalculé)}$(h), $\omega_{extr2(recalculé)}$(h) et les nouveaux débits $q_{m,air\_neuf(recalculé)\ et}$ $q_{m,sou,cond(recalculé)}$. Les variables calculées sont $\theta_{souf,mel(recalculé)}$(h) et $\omega_{souf,mel(recalculé)}$(h).

6.3.3.5.7 Prise en compte du ventilateur de soufflage :

Ce paragraphe est identique au §6.3.3.4.8 en utilisant $\theta_{souf,mel(recalculé)}$(h),$\omega_{souf,mel(recalculé)}$(h), $P_{vent,sou(recalculé)}$ et $q_{m,sou,cond(recalculé)}$. Les variables calculées sont $\theta_{souf2(recalculé)}$(h) et $\omega_{souf2(recalculé)}$(h).

6.3.3.5.8 Traitement de l'air pour assurer les charges de chauffage ou de refroidissement

Le principe de calcul consiste à partir des températures à souffler au niveau des bouches pour assurer les charges thermiques pour en déduire les conditions de fonctionnement de la centrale.

6.3.3.5.8.1 Température de l'air soufflé au niveau des bouches

Cas des CTA à débit constant et température variable (Type ventilation mecaniq=3):

Le débit restant constant, c'est la température de soufflage moyenne aux bouches qui est ajustée pour répondre à la charge thermique. La température de soufflage moyenne est recalculée par rapport celle calculée lors du premier calcul en mode zone neutre. Elle est appliquée à toutes les bouches de soufflage.

Le taux de charge de la centrale, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif, est de 100% :

$$\tau_{CH/FR} = 100\% \quad (635)$$

- Chauffage de l'air [($\Sigma Q_{sys\_ch}^{g,s}(h) > 0$ Wh ou $is_{report\_ch}^{g}(h-1)=1$)] et Is_chaud=1 :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^{g} + \frac{\sum Q_{sys_{ch}}^{g,s}(h) + P_{ZN}(h)}{\left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,spec(rec.)}(h)} \quad (636)$$

- Refroidissement de l'air [($\Sigma Q_{sys\_fr}(h) < 0$ Wh ou $is_{report\_fr}^{g}(h-1)=1$)] et Is_froid=1 :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^{g} + \frac{\sum Q_{sys\_fr}^{g,s}(h) + P_{ZN}(h)}{\left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,spec(rec.)}(h)} \quad (637)$$

Cas des CTA à débit variable (Type ventilation mecaniq=4):

La température de soufflage aux bouches est imposée à sa valeur nominale et une durée équivalente de fonctionnement en mode actif est calculée.

- Chauffage de l'air [($\Sigma Q_{sys\_ch}^{g,s}(h) > 0$ Wh ou $is_{report\_ch}^{g}(h-1)=1$)] et Is_chaud=1 :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{sou\_nom\_chaud} \quad (638)$$

La quantité d'énergie fournie par la centrale en chauffage à sa température nominale par rapport aux déperditions ou apports en fonctionnement zone neutre est la suivante :

$$P_{sys\_CH/FR\_max}(h) = \left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,spec(rec.)}(h) \times \left(\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{i,moy}^{g}(h)\right) - P_{ZN}(h) \quad (639)$$

On en déduit le taux de charge de la centrale, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif :

$$\tau_{CH/FR}(h) = \frac{\sum Q_{sys\ ch}^{g,s}(h)}{P_{sys\ CH/FR\_max}(h)} \quad (640)$$

Lorsque le taux de charge est supérieur à 1, on complète l'énergie fournie en considérant une augmentation de la température soufflée selon la relation (636) et $\tau_{CH/FR}(h) = 1$

En cas de puissance insuffisante au niveau des générateurs de la centrale au pas de temps précédent, on considère qu'on fonctionne à débit nominal au pas de temps actuel :

$$\text{Si } is_{report\_ch}^{g}(h-1)=1 \text{ alors } \tau_{CH/FR}(h) = 1 \quad (641)$$

Lorsque le taux de charge est supérieur à 1, on complète l'énergie fournie en considérant une augmentation de la température soufflée selon la relation (636).

- Refroidissement de l'air [($\Sigma Q_{sys\_fr}(h) < 0$ Wh ou $is_{report\_fr}^{g}(h-1)=1$)] et Is_froid=1 :

  En refroidissement, on calcule en premier la température de soufflage aux bouches sans refroidissement supplémentaire. La température effective est le minimum de cette température et de la température nominale en refroidissement actif.

  Soit

$$\exp H^{g,s}(h) = exp\left(-\frac{H_{cond,souf,ext}^{g,s}}{C_{pa}.\, q_{m,sou,cond(rec.)}^{g,s}(h)}\right) \quad (642)$$

  Soit :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \frac{\sum_{g,s}\left[q_{m,sou,cond(rec.)}^{g,s}(h) \times \left(\theta_{souf2(rec.)}(h) - \left(\theta_{souf2(rec.)}(h) - \theta_{Lnc}{}^{g,s}(h)\right) \times \left(1 - \exp H^{g,s}(h)\right)\right)\right]}{q_{m,sou,cond(rec.)}(h)} \quad (643)$$

  Ainsi,

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \mathrm{MIN}(\theta_{sou,bouches}(h), \theta_{sou,\mathrm{nom,froid}}(h)) \quad (644)$$

  La quantité d'énergie fournie par la centrale en refroidissement à sa température nominale est la suivante :

$$P_{sys\_CH/FR\_max}(h) = \left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,\_spec(rec.)}(h) \times \left(\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{i,moy}^{g}(h)\right) + P_{ZN}(h) \quad (645)$$

  On en déduit le taux de charge de la centrale, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif.

$$\tau_{CH/FR}(h) = \frac{\sum Q_{sys\ fr}^{g,s}(h)}{P_{sys\_CH/FR\_max}(h)} \quad (646)$$

  Lorsque le taux de charge est supérieur à 1, on complète l'énergie fournie en considérant une diminution de la température soufflée selon la relation (637) et $\tau_{CH/FR}(h) = 1$.

  En cas de puissance insuffisante au niveau des générateurs de la centrale au pas de temps précédent, on considère qu'on fonctionne à débit nominal au pas de temps actuel :

$$\text{Si } is_{report\_fr}^{g}(h-1)=1 \text{ alors } \tau_{CH/FR}(h) = 1 \quad (647)$$

6.3.3.5.8.2 Température de l'air soufflé en sortie de la centrale

La température d'air soufflé en sortie de la centrale est calculée à partir de la température moyenne d'air soufflé requise aux bouches et des pertes/fuites aérauliques hors volume chauffé :

$$\theta_{air\_souffle(rec.)}(h) = \frac{\sum_{g,s}\left[q^{g,s}_{m,sou,cond(rec.)}(h) \times \frac{\left(\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{Lnc(rec.)}{}^{g,s}(h) \times \left(1 - \mathrm{expH}^{g,s}(h)\right)\right)}{\mathrm{expH}^{g,s}(h)}\right]}{q_{m,sou,cond(rec.)}(h)} \quad (648)$$

expH^{g,s}*(h)* est calculé selon la relation (642).

6.3.3.5.8.3 Prise en compte du chauffage (Autch(j)>0 et Qsys,ch(h) > 0 Wh)

La température d'air soufflé requise après l'étape de chauffage correspond à la température attendue en sortie de bouche en prenant en compte les pertes des conduits:

$$\theta_{souf\_CH/FR}(h) = \theta_{air\_soufle(rec.)}(h) \quad (649)$$

Il convient de s'assurer dans un premier temps que le dispositif de chauffage est en mesure d'atteindre la température en sortie de centrale requise. Pour ce faire, une variable de sous dimensionnement est calculée, en supposant que la température maximale de soufflage possible est de 60°C :

$$\begin{aligned} &\text{Si } \theta_{souf\_CH/FR}(h) > 60°C \\ &\qquad Nb_{sousdim\_DAV\_Cr}(h) = Nb_{sousdim\_DAV\_Ch}(h-1) + 1 \\ &\text{Sinon} \\ &\qquad Nb_{sousdim\_DAV\_Cr}(h) = 0 \\ &Nb_{sousdim\_DAV\_Cr}(h-1) = Nb_{sousdim\_DAV\_Cr}(h) \end{aligned} \quad (650)$$

Si un sous dimensionnement est avéré sur plus de 6 pas de temps consécutifs, un message d'erreur est généré, invitant à revoir le dimensionnement de la DAV (débit, température de batterie etc).

Le besoin de chauffage recalculé au niveau de la centrale est donc le suivant. Ce besoin s'exprimant en Wh, il doit tenir compte de la durée de fonctionnement en mode actif :

$$Q_{chaud(rec.)}(h) = \tau_{CH/FR}(h).\left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,cond(rec.)}(h) \times \left(\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{souf2(rec.)}(h)\right) \quad (651)$$

$$Q_{chaud(rec.)}(h) = MAX\left(0\,;Q_{chaud(rec.)}(h)\right) \quad (652)$$

L'humidité en sorte de la centrale est inchangée :

$$\omega_{soufCH/FR}(h) = \omega_{souf2\,(rec)}(h) \quad (653)$$

6.3.3.5.8.4 Prise en compte du refroidissement (Autfr(j)>0 et Qsys,fr(h) < 0 Wh)

La température d'air soufflé requise après l'étape de refroidissement correspond à la température d'air soufflé :

$$\theta_{souf\_CH/FR}(h) = \theta_{air\_soufflé(rec.)}(h) \quad (654)$$

Le besoin de refroidissement recalculé au niveau de la centrale est donc le suivant. Ce besoin s'exprimant en Wh, il doit tenir compte de la durée de fonctionnement en mode actif :

$$Q_{froid(rec.)}(h) = \tau_{CH/FR}(h).\left(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf2(rec.)}(h)\right) \times q_{m,sou,cond(rec.)}(h) \times \left(\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{souf2(rec.)}(h)\right) \quad (655)$$

$$Q_{froid(rec.)}(h) = MIN\left(0\,;Q_{froid(rec.)}(h)\right) \quad (656)$$

Le besoin de refroidissement précédemment calculé correspond au besoin sensible (sans déshumidification). Il convient de prendre en compte également le besoin latent.

Si $Q_{sys\_fr(rec.)}(h) < 0$ *(Wh)*, alors,

Au même titre que pour les batteries de refroidissement, la batterie à eau froide ou a détente directe est supposée fonctionner à température constante. Ainsi, la température de surface de la

batterie, $\theta_{batt}(h)$, peut être calculée en fonction des conditions nominales définies au niveau des réseaux de distribution. On suppose que l'écart entre la température de fluide circulant à l'intérieur de la batterie et l'air soufflé est de 2°C. Ainsi :

$$\theta_{batt}(h) = \theta_{dim,fr} + 2°C \quad (657)$$

Où $\theta_{dim,fr}$ est la température nominale de fluide circulant dans la batterie ou l'évaporateur en °C.

Il convient de s'assurer dans un premier temps que le dispositif de refroidissement est en mesure d'atteindre la température en sortie de centrale attendue. Pour ce faire, une variable de sous dimensionnement est calculée :

$$\begin{aligned} &\text{Si } \theta_{souf\_CH/FR}(h) < \theta_{batt}(h) \\ &\qquad Nb_{sousdim\_DAV\_Fr}(h) = Nb_{sousdim_{DAV_{Fr}}}(h-1) + 1 \\ &\text{Sinon} \\ &\qquad Nb_{sousdim\_DAV\_Fr}(h) = 0 \\ &Nb_{sousdim\_DAV\_Fr}(h-1) = Nb_{sousdim\_DAV\_Fr}(h) \end{aligned} \quad (658)$$

Si un sous dimensionnement est avéré sur plus de 6 pas de temps consécutifs, un message d'erreur est généré, invitant à revoir le dimensionnement de la DAV (débit, température de batterie etc).

SI aucun message n'a été généré, le calcul suit son cours.

On déduit alors le facteur de bypass équivalent de la batterie, BP(h) :

$$BP(h) = MIN\left(1; \frac{\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{batt}(h)}{\theta_{souf2(rec.)}(h) - \theta_{batt}(h)}\right) \quad (659)$$

Ensuite, on calcule l'humidité spécifique de saturation de l'air à la température de surface de la batterie θ_{batt} :

$$\omega_{sat}(h) = 0{,}001.exp\left(A - \frac{B}{\theta_{batt}(h) + C}\right) \quad (660)$$

La variation d'humidité spécifique de l'air au travers de la batterie de refroidissement est la suivante :

$$\Delta\omega_{fr}(h) = MIN\left(\omega_{sat}(h) - \omega_{souf2(rec.)}(h); 0\right).(1 - BP(h)) \quad (661)$$

Au final, on en déduit la température et l'humidité spécifique en sortie de la batterie de refroidissement :

$$\omega_{soufCH/FR}(h) = \omega_{souf,2(rec.)}(h) + \Delta\omega_{fr}(h) \quad (662)$$

Le besoin supplémentaire associé à la déshumidification est le suivant. Ce besoin s'exprimant en Wh, il doit tenir compte de la durée de fonctionnement en mode actif :

$$Q_{sys\_lat\_fr}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \times q_{m,sou,cond(rec.)}(h) \times L_v \times \Delta\omega_{fr}(h) \quad (663)$$

Le besoin total est le suivant :

$$Q_{froid(rec.)}(h) = Q_{froid(rec.)}(h) + Q_{sys\_lat\_fr}(h) \quad (664)$$

Sinon *(besoin de refroidissement recalculé nul),*

$$\omega_{souf\_CH/FR}(h) = \omega_{souf2(rec.)}(h) \quad (665)$$

Au niveau des bouches-conduits de soufflage :

$$\omega^{g,s}_{air\_soufflé(rec.)}(h) = \omega_{souf\_CH/FR}(h) \quad (666)$$

6.3.3.5.8.4.1 Calcul des consommations d'énergie des auxiliaires par groupe

Les consommations de ventilateurs s'exprimant en Wh, elles doivent tenir compte des durées respectives de fonctionnement en mode actif et en mode zone neutre :

$$\begin{aligned} &W_{vent(rec.)}(h) \\ &= \tau_{CH/FR}(h) \\ &\times \left(P_{vent,rep(rec.)}(h) + P_{vent,sou(rec.)}(h)\right) + \left(1 - \tau_{CH/FR}(h)\right) \times W_{vent}(h) \end{aligned} \quad (667)$$

De même, on recalcule la puissance des pompes servant au rafraichissement adiabatique:

si Aut_adiab=1 et Type_Humidification_Ete =2

$$W_{aux,adiab(rec)}(h) = \frac{\left(\text{-0.0057} \times q^{pompe}_{m,eau\_ete(rec)}(h)^2 \text{ - 0.7842} \times q^{pompe}_{m,eau\_ete(rec)}(h) \ + \ 18778\right) \times \frac{q^{pompe}_{m,eau\_ete(}}{3600}}{\left(\text{-3E-07} \times q^{pompe}_{m,eau\_ete(rec)}(h)^2 \ + \ 0.0004 \times q^{pompe}_{m,eau\_ete(rec)}(h) \ + \ 0.0031\right)} \quad (668)$$

Sinon

$$W_{aux,adiab}(h) = 0 \quad (669)$$

Ici encore, il est nécessaire de tenir compte des durées respectives de fonctionnement en mode actif et en mode zone neutre

$$W_{aux,adiab(rec.)}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \times W_{aux,adiab(rec.)}(h) + \left(1 - \tau_{CH/FR}(h)\right) \times W_{aux,adiab}(h) \quad (670)$$

Enfin, la consommation du puits hydraulique doit également tenir compte des durées respectives de fonctionnement en mode actif et en mode zone neutre

$$W^{PH,S}_{elec(rec)}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \times \left(W^{PH,S}_{elec(rec)}(h)\right) + \left(1 - \tau_{CH/FR}(h)\right) \times W^{PH,S}_{elec}(h)$$

On ramène ensuite la consommation à chacun des groupes desservis au prorata des débits massiques soufflés par la centrale :

$$\begin{aligned} &W_{aux,v}{}^{gr}(h) \\ &= \frac{\sum^{g,s \in gr}_{g,s} q^{g,s}_{m,sou,cond(rec.)}(h)}{q_{m,sou,cond(rec.)}(h)} \cdot \left(W_{vent(rec.)}(h) + W_{ech}(h)\right. \\ &\left. + W_{aux,adiab(rec.)}(h) + W^{PH,S}_{elec(rec)}(h)\right) \end{aligned} \quad (671)$$

6.4 C_VEN_Mécanique_Basse-Pression

6.4.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit le calcul des débits, températures et humidités d'air repris pour le calcul du Cep ainsi que l'impact énergétique des ventilateurs pour les systèmes de ventilation mécanique basse pression.

Cette description repose sur la modélisation simplifiée d'un système de ventilation à débit constant décrite en Figure 74 (EN NF 15241).

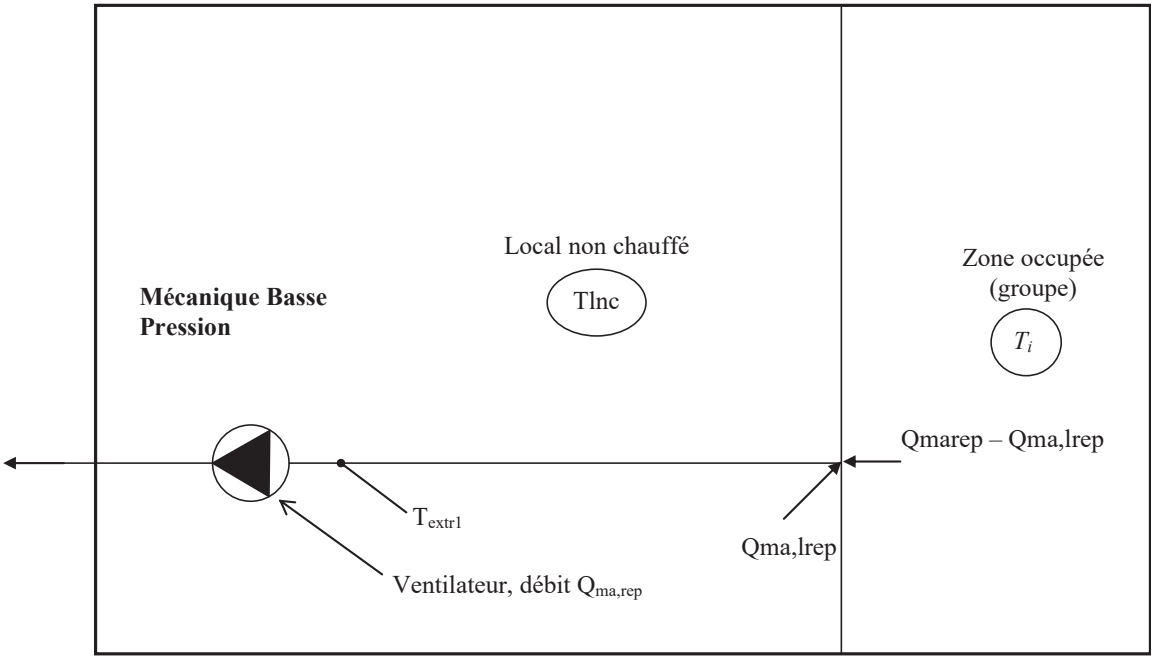


Figure 74 Modélisation d'un système de ventilation Mécanique Basse Pression

6.4.2 DEFINITION

Le système d'extraction mécanique basse pression est conçu pour les logements collectifs équipés de conduits individuels ou de conduits collectifs de type SHUNT. Il permet d'assurer le fonctionnement permanent de l'assistance mécanique de l'évacuation de l'air vicié.

Il est composé de (liste non exhaustive) :

- un ensemble d'entrées d'air,
- un ensemble de bouches d'extraction,
- un caisson d'extraction,
- un réseau de conduits aérauliques.

6.4.3 NOMENCLATURE

Le Tableau 64 donne la nomenclature des différentes variables.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe par le système *S*	m^3/h
$q^{g,s}_{rep,cond}$	Débit repris par le système *S* en tenant compte des conduits	m^3/h
$\theta_{i,fin}$	Température de l'air intérieur du groupe à la fin du pas de temps précédent	°C
θ_{ext}	Température extérieure au pas de temps h	°C
w_{ext}	Poids d'eau dans l'air extérieur au pas de temps h	kg/kg as
Dugd	Durée d'Utilisation du Grand Débit exprimée en h/semaine	h
$A^{g,s}_{cond,rep}$	Surface du conduit de reprise	m^2
Rrep	Résistance thermique de la partie du conduit de reprise située hors volume chauffé	m^2K/W

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Isouf	Isouf=0 extraction Isouf = 1 insufflation	-	0	1	-
Pventbase	Puissance électrique du ventilateur en résidentiel en base	W	0	+∞	
Pventpointe	Puissance électrique du ventilateur en résidentiel en pointe	W	0	+∞	
b	Ratio de prise en compte de la présence de locaux non chauffés pour la partie des conduits correspondante	ad	0	1	-
$I_{Typologie}$	Indique la typologie : Résidentiel (Maison individuelle ou accollée ou logement collectif) ou non résidentiel				

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
Cpa	Chaleur massique de l'air	J/kg.K	1006
pel	Rendement des ventilateurs	-	0,8

Variables internes

Nom	Description	Unité
T_{extr1}	Température de l'air repris après impact des pertes du conduit	°C
T_{extr2}	Température de l'air repris après impact du ventilateur d'extraction	°C
$A^{g,s}_{cond,rep,ext}$	Surface du conduit de reprise donnant sur l'extérieur	m^2
$H^{g,s}_{cond,rep,ext}$	Conductivité thermique du conduit de reprise	W/K
T_{LNC}	Température du local non chauffé	°C
Pvent	Puissance du ventilateur	W
$Dugd_{equ}$	Durée d'Utilisation équivalente du Grand Débit exprimée en h/semaine lorsqu'il y a plusieurs bouches	h

Sorties

Nom	Description	Unité
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe	m^3/h
Cvent	Consommation des ventilateurs de la zone	W

Tableau 64 : Nomenclature du modèle

6.4.4 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

On décrit successivement le calcul des consommations de ventilateur, des températures et des humidités.

6.4.4.1 ***Définition des puissances des ventilateurs***

Isouf = 0 et quelque soit Ivent

$$Dugd_{equ} = max(Dugd^{s};\ sur\ l'ensemble\ des\ bouches\ du\ système) \quad (672)$$

$$Pvent = \frac{Pventpointe \times Dugd_{equ} + Pventbase \times (168 - Dugd_{equ})}{168} \quad (673)$$

6.4.4.2 ***Calcul des consommations électriques de ventilateur***

La consommation (Wh) consiste à sommer les puissances (en Watt) qui sont évaluées à chaque heure.

$$Cvent = Pvent \quad (674)$$

6.4.4.3 ***Calcul des températures de l'air***

Température après impact pertes du conduit :

$$T^{g,s}_{extr1} = \theta_{i,cond} - (\theta_{i,cond} - T_{Lnc}) \times \left(1 - exp\left(-\frac{3600 \times H^{g,s}_{cond,rep,ext}}{C_{pa} \times \rho_{i,g} \times \left(abs\left(q^{g,s}_{rep,cond}\right)\right)}\right)\right) \quad (675)$$

Avec

$$\theta_{i,cond} = \frac{q^{g,s}_{spec\_repris} * \theta^{g}_{i,fin} + (q^{g,s}_{rep,cond} - q^{g,s}_{spec\_repris}) * T_{Lnc}}{q^{g,s}_{rep,cond}} \quad (676)$$

$$T_{Lnc} = (1 - b) \times \theta_{i,g,fin} + b \times \theta_{ext} \quad (677)$$

$$H^{g,s}_{cond,rep,ext} = \frac{A^{g,s}_{cond,rep,ext}}{R^{g,s}_{rep} + 0.02} \quad (678)$$

$$A^{g,s}_{cond,rep,ext} = (1 - Ratfuitevc) \times A^{g,s}_{cond,rep} \quad (679)$$

Température après impact ventilateur d'extraction :

$$T^{g,s}_{extr2} = T^{g;s}_{extr1} + \frac{3600 \times pel \times Pvent}{Cpa \times \rho_{i,g} \times abs\left(q^{g,s}_{rep,cond}\right)} \quad (680)$$

6.5 C_VEN_Mécanique_SF

6.5.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit le calcul des débits, températures et humidités d'air repris et soufflé pour le calcul du C ainsi que l'impact énergétique des ventilateurs pour les systèmes de ventilation mécanique simple flux par extraction ou par insufflation.

Cette description repose sur la modélisation simplifiée d'un système de ventilation à débit constant décrite en Figure 75 (EN NF 15241).

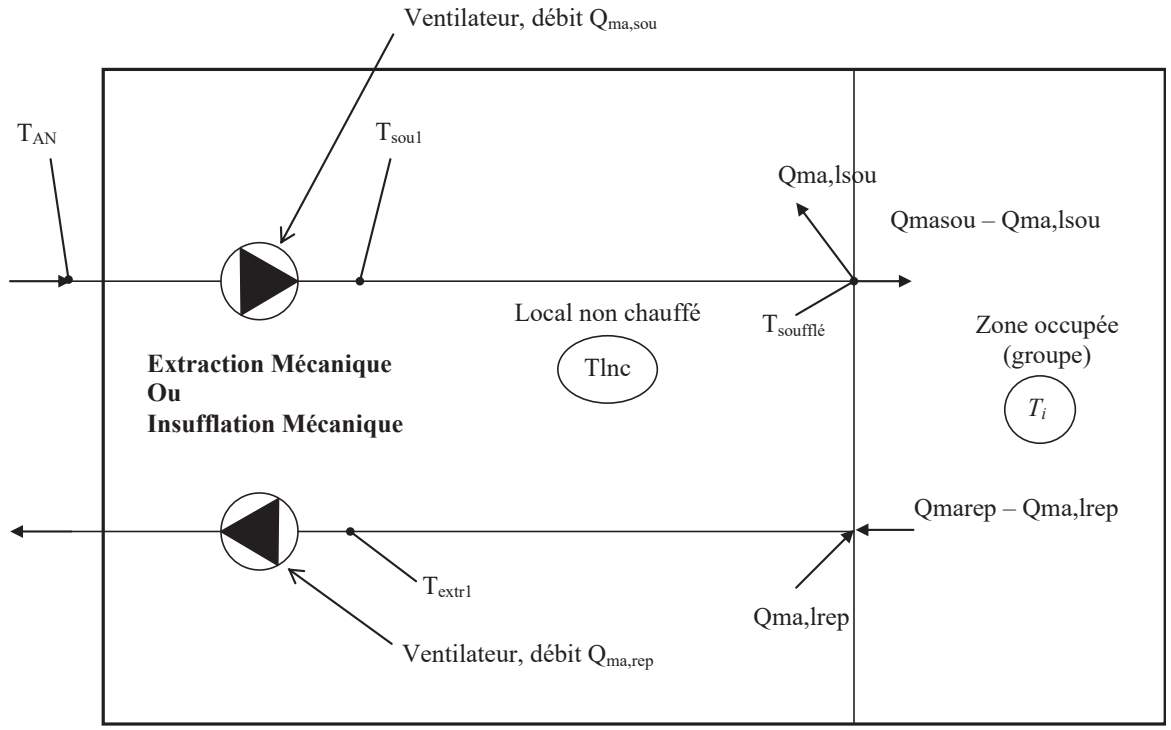


Figure 75. Modélisation d'un système de ventilation Mécanique Simple Flux par Insufflation ou par Extraction

6.5.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 65 suivant donne la nomenclature des différentes variables.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe par le système *S*	m^3/h
$q^{g,s}_{spec\_souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe par le système *S*	m^3/h
$q^{g,s}_{rep,cond}$	Débit repris par le système *S* en tenant compte des conduits	m^3/h
$q^{g,s}_{soufflé,cond}$	Débit soufflé par le système *S* en tenant compte des conduits	m^3/h
$\theta_{i,fin}$	Température de l'air intérieur du groupe à la fin du pas de temps précédent	°C
θ_{ext}	Température extérieure au pas de temps h	°C
w_{ext}	Poids d'eau dans l'air extérieur au pas de temps h	kg/kgas
$\theta^{PH}_{eau\_out}(h)$	Température de l'eau glycolée après passage dans le puits hydraulique (= température d'entrée dans l'échangeur air/eau)	°C
$Q^{PH}(h)$	Débit de l'eau glycolée dans le puits hydraulique au pas de temps h *(Puits hydraulique)*	m^3/h
$W^{PH,S}_{elec(rec)}(h)$	Quantité d'énergie absorbée par la pompe du puits hydraulique au pas de temps h	Wh
Dugd	Durée d'Utilisation du Grand Débit exprimée en h/semaine	h
$\theta_{air,out}{}^{pc}(h)$	Température en sortie du puits climatique au pas de temps h	°C
$\rho_{i,g,prev}$	Masse volumique de l'air extrait du groupe *g* au pas de temps h-1	kg/m^3
$Isaison^{GR}$	indicateur de la saison pour chaque groupe connecté	-
Cvent_pc	consommation du ventilateur du puits climatique	W

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Isouf	Isouf = 0 si extraction Isouf = 1 si insufflation	-	0	1	-
Pventocc	Puissance électrique du ventilateur de soufflage ou de reprise en occupation en non résidentiel	W	0	+∞	-
Pventinocc	Puissance électrique du ventilateur de soufflage ou de reprise en non résidentiel en inoccupation	W	0	+∞	

Pventbase	Puissance électrique du ventilateur en résidentiel en base	W	0	+∞	
Pventpointe	Puissance électrique du ventilateur en résidentiel en pointe	W	0	+∞	
$I_{climatique}$	Booléen indiquant le raccordement éventuel à un puits climatique ou un espace tampon	Bool	Vrai	Faux	-
$I_{hydraulique}$	Booléen indiquant le raccordement éventuel à un puits hydraulique	Bool	Vrai	Faux	-
$Id\_{puits\_climatique}$	Index unique du puits climatique auquel est raccordé la centrale. *Si 0, pas de raccordement.*	Ent	0	+∞	-
$Id\_{puits\_hydraulique}$	Index unique du puits hydraulique auquel est raccordé la centrale. *Si 0, pas de raccordement.*	Ent	0	+∞	-
b	Ratio de prise en compte de la présence de locaux non chauffés pour la partie des conduits correspondante	ad	0	1	-
$A^{g,s}_{cond,rep}$	Surface du conduit de reprise	m²	0	+∞	
$A^{g,s}_{cond,soufflé}$	Surface du conduit de soufflage	m²	0	+∞	
R_{rep}	Résistance thermique de la partie du conduit de reprise située hors du volume chauffé	m^2K/W	0	+∞	
R_{souf}	Résistance thermique de la partie du conduit de soufflage située hors du volume chauffé	m^2K/W	0	+∞	
$I_{Typologie}$	Indique la typologie : Résidentiel (Maison individuelle ou accollée ou logement collectif) ou non résidentiel				
Ratfuitevc	Ratio des fuites en volume chauffé	-	0	1	

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Type\_{eff\_echangeur\_PH}$	Type de valeur choisi pour définir l'efficacité de la batterie du puits hydraulique : 2. Valeur par défaut 3. Valeur saisie par l'utilisateur	-	0	1	-
Type_Surventilation_PH	Présence d'une fonction de surventilation d'été associée au puits hydraulique : *0 : Pas de surventilation,* *1 : Surventilation d'été synchronisée avec le fonctionnement du puits hydraulique*	-	0	1	-
P_{ch}	Puissance de la batterie du puits hydraulique en mode préchauffage pour un air neuf à -10°C et une température d'eau entrant dans la batterie de 10°C, aux débits nominaux d'air et d'eau.	kW	0	+ ∞	
P_{fr}	Puissance de la batterie du puits hydraulique en mode prérefroidissement pour un air neuf à 30°C et une température d'eau entrant dans la batterie de 10°C, aux débits nominaux d'air et d'eau du	kW	0	+ ∞	

projet.

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
Cpa	Chaleur massique de l'air	J/kg.K	1006
pel	Taux de récupération sur les ventilateurs	-	0,8
ρ_{ref}	Masse volumique de l'air de référence	kg/m^3	1,2
ρ_{eau_gl}	Masse volumique de l'eau glycolée *(Puits hydraulique)*	Kg/m^3	1040
Cp_{eau_gl}	Capacité calorifique de l'eau glycolée *(Puits hydraulique)*	J/(kg.K)	3751
$\varepsilon_{batt\_PH\_défaut}$	Efficacité par défaut de l'échangeur air/eau glycolée du puits hydraulique	-	0,65

Variables internes

Nom	Description	Unité
Pvent	Puissance des ventilateurs	W
Pvent^g	Puissance des ventilateurs du groupe	W
$T^{g,s}_{extr1}$	Température de l'air repris après impact des pertes du conduit	°C
T^{s}_{extr1}	Température de l'air extrait avant impact du ventilateur du système de ventilation *S*	°C
T^{s}_{extr2}	Température de l'air repris après impact du ventilateur d'extraction du système de ventilation *S*	°C
T^{s}_{souf1}	Température de l'air soufflé après impact du ventilateur du système de ventilation *S*	°C
T^{s}_{souf2}	Température de l'air soufflé après impact du réseau de soufflage du système de ventilation *S*	°C
T^{s}_{AN}	Température de l'air neuf vu par le système de ventilation *S* (la CTA ou la VMC DF)	°C
T_{AN}	*Variable intermédiaire* - Température de l'air neuf	°C
$T_{air\_out_{PH}}$	*Température de l'air neuf en sortie de l'échangeur air/eau glycolée du puits climatique*	°C
$A_{cond,rep,ext}$	Surface du conduit de reprise donnant sur l'extérieur	m^2
$A_{cond,souf,ext}$	Surface du conduit de soufflage donnant sur l'extérieur	m^2
$H_{cond,rep,ext}$	Conductivité thermique du conduit de reprise	W/K
$H_{cond,souf,ext}$	Conductivité thermique du conduit de soufflage	W/K
T_{LNC}	Température du local non chauffé	°C
T^{s}_{AN}	Température de l'air neuf vu par le ventilateur (système de ventilation S)	°C

θ_{icond}	Température de l'air à l'intérieur des conduits d'extraction	°C
$Dugd_{equ}$	Durée d'Utilisation équivalente du Grand Débit exprimée en h/semaine lorsqu'il y a plusieurs bouches	h
$q_{m\text{-}AN\_nom\_occ\_cond}$	Débit massique nominal total d'air neuf des centrales de ventilation connectées au puits hydraulique en période d'occupation (incluant les débits de fuite réseau et le coefficient de dépassement des bouches)	kg/s
$q_{m\_sou\_rafnoc\_cond}$	Débit massique d'air neuf total des centrales de ventilation connectées au puits hydraulique en période de surventilation (incluant les débits de fuite réseau et le coefficient de dépassement des bouches)	kg/s
$C_{air\_neuf\_total}$	Débit total capacitif de l'air neuf avant distribution aux différents systèmes s desservis par le puits hydraulique	W/K
C_{eau_PH}	Débit capacitif de l'eau glycolée du puits hydraulique	W/K
C_{PH}	rapport du débit capacitif minimal au débit maximal des deux fluides de l'échangeur air/eau glycolée du puits hydraulique	-
θ_{air,out_batt_ch} θ_{air,out_batt_fr}	Température d'air en sortie de la batterie eau/air dans les conditions nominales de débits et de températures d'entrée d'air/d'eau	°C
$\varepsilon_{batt\_PH\_ch}$ $\varepsilon_{batt\_PH\_fr}$	Efficacité de la batterie eau-air du puits hydraulique calculée à l'aide des puissances de batterie, en mode préchauffage ou pré-refroidissement de l'air	Réel (0-1)
$q_{m\text{-}AN\text{-}hiv}$ $q_{m\text{-}AN\text{-}ete}$	Débit massique d'air neuf de référence de la centrale lors de l'activation du puits hydraulique, en saison de chauffe et hors saison de chauffe	kg/s
$\varepsilon_{batt-PH}(h)$	Efficacité de la batterie eau-air du puits hydraulique calculée à l'aide des au pas de temps h	Réel (0-1)

Sorties

Nom	Description	Unité
$q^{g,s}_{spec\_repris}$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe	m^3/h
$q^{g,s}_{spec\_souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe	m^3/h
$T^{g,s}_{air\_souffle}$	Température de l'air soufflé dans le groupe (en provenance de l'extérieur ou d'autres groupes)	°C
$\omega^{g,s}_{air\_souffle}$	Humidité de l'air soufflé dans le groupe (en provenance de l'extérieur)	g/kgas
Cvent	Consommation des ventilateurs de la zone	W
$Cvent^g$	Consommation des ventilateurs du groupe g, part du ventilateur du puits climatique comprise le cas échéant.	W
$\theta^s_{i,fin}$	température moyenne des groupes connectés à la CTA	°C

$Isaison^{S}$	Indicateur de saison vu de la centrale	-
$Qm_{air\_extrait}$	Débit d'air rejeté par la centrale, débit utilisé pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	kg/s
$T_{air\_extrait}$	Température de l'air rejeté par la centrale, température utilisée pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	°C
$\rho^{gs}_{air\_soufflé}$	Masse volumique de l'air soufflé dans les groupes	kg/m^3
Hvent	déperditions par la ventilation	W/K
$\theta^{echangeur}_{out\_gl}$	Température de l'eau glycolée en sortie de l'échangeur (entrée puits hydraulique)	°C

Tableau 65 : Nomenclature du modèle

6.5.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

On décrit successivement le calcul des consommations de ventilateur, des températures et des humidités.

6.5.3.1 ***Conditions sur les paramètres***

6.5.3.1.1 Raccordement au puits climatique ou hydraulique

Une centrale de ventilation ne peut pas être reliée simultanément à un puits climatique et un puits hydraulique :

Si $Id\_{puits\_climatique} > 0$ et $Id\_{puits\_hydraulique} > 0$, alors, on lève l'exception suivante :

« Exception : la centrale de ventilation ne peut pas être reliée simultanément à un puits climatique et un puits hydraulique. *»*

6.5.3.1.2 Calcul préalable à la simulation

6.5.3.1.2.1 Prétraitement relatif au puits hydraulique

En préalable à la simulation, ***si Type_eff_echangeur_PH = 1***, on calcule l'efficacité de la batterie eau/air du puits hydraulique à partir des puissances thermiques déclarées.

Pour le fonctionnement du puits hydraulique en préchauffage de l'air neuf :

Le débit d'air neuf de référence est le débit d'air neuf nominal en occupation en intégrant les fuites des conduits :

$$q_{m-AN-hiv} = \sum_g q_{souf,\ cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (681)$$

Dans tous les cas

$$\theta_{air-out-batt\_ch} = -10°C + \frac{1000.P_{ch}}{Cp_{air} \cdot q_{m-AN-hiv}} \quad (682)$$

$$\varepsilon_{batt\_PH\_ch} = \frac{\theta_{air-out-batt\_ch} - (-10°C)}{10°C - (-10°C)} \quad (683)$$

Pour le fonctionnement du puits hydraulique en prérefroidissement de l'air neuf :

Si la centrale dispose d'une fonction de surventilation d'été synchronisée avec le fonctionnement du puits hydraulique (Type_Surventilation_PH = 1), alors le débit d'air neuf de référence est le débit de surventilation :

$$q_{m-AN-ete} = q_{m\_sou\_rafnoc\_cond} \quad (684)$$

Sinon, (Type_Surventilation_PH = 0), il s'agit du débit d'air neuf en occupation :

$$q_{m-AN-ete} = \sum_g q_{souf,\ cond}{}^{g,s} \cdot \rho_{ref} \quad (685)$$

On en déduit l'efficacité de la batterie :

$$\theta_{air-out-batt\_fr} = 30°C - \frac{1000.P_{fr}}{Cp_{air} \cdot q_{m-AN-ete}} \quad (686)$$

$$\varepsilon_{batt\_PH\_fr} = \frac{30°C - \theta_{air-out-batt\_fr}}{30°C - 10°C} \quad (687)$$

Si $\varepsilon_{batt\_PH\_ch}$ ou $\varepsilon_{batt\_PH\_fr}$ sont supérieurs à 1 à l'issue de ce calcul, un message d'erreur est renvoyé à l'utilisateur pour lui signaler que les puissances de batteries eau/air saisies sont supérieures à la puissance maximale physiquement admissible au débit de ventilation renseigné.

Au contraire, ***si Type_eff_echangeur_PH = 0***, on attribue la valeur par défaut $\varepsilon_{batt\_PH\_defaut}$ (0,65) à l'efficacité de la batterie air/eau du puits hydraulique, comme suit :

$$\varepsilon_{batt\_PH\_ch} = \varepsilon_{batt\_PH\_fr} = \varepsilon_{batt\_PH\_défaut} \quad (688)$$

6.5.3.2 *Définition des puissances des ventilateurs*

6.5.3.2.1 En non résidentiel

Ventilation Mécanique Simple flux par extraction

Isouf = 0

Si Ivent = vrai $Pvent = Pventocc$ (689)
Si Ivent = faux $Pvent = Pventinocc$ (690)

Ventilation Mécanique Simple flux par insufflation

Isouf = 1

Si Ivent = vrai $Pvent = Pventocc$ (691)
Si Ivent = faux $Pvent = Pventinocc$ (692)

6.5.3.2.2 En résidentiel, quel que soit Ivent

$$Dugd_{equ} = max(Dugd^{s};\ sur\ l'ensemble\ des\ bouches\ du\ systeme) \quad (693)$$

Ventilation Mécanique Simple flux par extraction

Isouf = 0 et quel que soit Ivent

$$Pvent = \frac{Pventpointe \times Dugd_{equ} + Pventbase \times (168 - Dugd_{equ})}{168} \quad (694)$$

En résidentiel et en non résidentiel, la répartition par groupe est définie comme suit :

$$Pvent^{g} = \frac{Pvent \times q_{spec\_repris}^{g,s}}{\sum_{s}\left(q_{spec\_repris}^{g,s}\right)} \quad (695)$$

Ventilation Mécanique Simple flux par insufflation

Isouf = 1 et quel que soit Ivent

$$Pvent = \frac{Pventpointe \times Dugd_{equ} + Pventbase \times (168 - Dugd_{equ})}{168} \quad (696)$$

En résidentiel et en non résidentiel, la répartition par groupe est définie comme suit :

$$Pvent^{g} = \frac{Pvent \times q_{spec\_soufflé}^{g,s}}{\sum_{s}\left(q_{spec\_soufflé}^{g,s}\right)} \quad (697)$$

6.5.3.3 *Calcul des consommations électriques de ventilateur*

La consommation (Wh) consiste à sommer les puissances (en Watt) qui sont évaluées à chaque heure.

$$Cvent = Pvent \tag{698}$$

La consommation est définie par groupe de la façon suivante :

$$Cvent^{g} = Pvent^{g} \tag{699}$$

6.5.3.4 *Calcul des températures de l'air*

6.5.3.4.1 Simple flux par extraction : Températures à l'extraction

Température après impact des pertes de conduit :

$$T_{extr1}^{g,s} = \theta_{i,cond} - \left(\theta_{i,cond} - T_{Lnc}\right) \times \left(1 - exp\left(-\frac{3600 \times H_{cond,rep,ext}^{g,s}}{C_{pa} \times \left(abs\left(\rho_{i,g,prev} \times q_{rep,cond}^{g,s}\right)\right)}\right)\right) \tag{700}$$

Avec :

$$\theta_{i,cond} = \frac{q_{spec\_repris}^{g,s} * \theta_{i,fin}^{g} + \left(q_{rep,cond}^{g,s} - q_{spec\_repris}^{g,s}\right) * T_{Lnc}}{q_{rep,cond}^{g,s}} \tag{701}$$

$$T_{Lnc} = (1 - b) \times \theta_{i,g,fin} + b \times \theta_{ext} \tag{702}$$

$$H_{cond,rep,ext}^{g,s} = \frac{A_{cond,rep,ext}}{R_{rep}^{g,s} + 0.02} \tag{703}$$

$$A_{cond,rep,ext} = (1 - Ratfuitevc) \times A_{cond,rep}^{g,s} \tag{704}$$

Afin de prévoir le cas où plusieurs conduits d'extraction sont reliés au groupe d'extraction du système de ventilation *S*, on définit :

$$T_{extr1}^{s} = \frac{\sum_{g}\left(T_{extr1}^{g,s} \times \rho_{i,g,prev} \times q_{rep,cond}^{g,s}\right)}{\sum_{g}\left(\rho_{i,g,prev} \times q_{rep,cond}^{g,s}\right)} \tag{705}$$

Température après impact du ventilateur d'extraction :

$$T_{extr2}^{s} = T_{extr1}^{s} + \frac{3600 \times pel \times Pvent_{rep}}{C_{pa} \times abs\left(\sum_{g}(\rho_{i,g,prev} \times q_{rep,cond}^{g,s})\right)} \tag{706}$$

Débit et température de l'air extrait, utilisés pour les machines thermodynamiques sur l'air extrait.

$$T_{air\_extrait} = T_{extr2}^{s}$$
$$q_{m,air\_extrait}^{s} = 3600^{-1} \times \sum \rho_{i.g,prev}^{g,s} \times q_{rep,cond}^{g,s} \tag{707}$$

$$H_{vent} = q_{m,air\_extrait}^{s} \times C_{pa} \tag{708}$$

6.5.3.4.2 Simple flux par insufflation : Température de l'air soufflé

La masse volumique de l'air intérieur est la suivante :

$$\rho_{i,fin}^{g}(h-1) = \frac{\rho_{ref}.(273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{i,fin}^{g}(h-1))} \tag{709}$$

La température d'air neuf dépend de la présence d'un système de puits hydraulique ou climatique en amont

de la centrale :

- Si $I_{climatique}$=0 et $I_{hydraulique}$=0, absence de puits climatique ou hydraulique :

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (710)$$

- Si $I_{climatique}$>0 vrai, présence d'un puits climatique :

Dans ce cas, la température d'air neuf est égale à la température de sortie du puits climatique, avec les débits d'air neuf calculés à la fin du pas de temps précédent:

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{airout}{}^{pc}(h) \quad (711)$$

- Si $I_{hydraulique}$>0 vrai, présence d'un puits hydraulique :

A l'issue du calcul de la température de sortie d'eau du puits hydraulique avec les débits d'air neuf calculés à la fin du pas de temps précédent (voir C_Ven_Puits hydraulique), on calcule la température d'air neuf corrigée suite au passage de l'air dans la batterie eau-air.

Si $Q_{PH}(h)$>0, alors le puits hydraulique est en fonctionnement et l'air entrant passe par la batterie eau-air. La température d'air en sortie du puits hydraulique est la suivante :

$$\theta_{AN}(h) = \theta_{ext}(h) + \varepsilon_{batt-PH}(h-1).\left(\theta_{\text{eau-out}}{}^{\text{PH}}(h) - \theta_{ext}(h)\right) \quad (712)$$

Avec,

$$\begin{gathered}\text{En saison de chauffage } (Aut_{ch}(h) = 1)\text{: } \varepsilon_{batt-PH}(h-1) = \varepsilon_{batt-PH-ch} \\ \text{Hors saison de chauffage } (Aut_{ch(h)} < 1)\text{: : } \varepsilon_{batt-PH}(h-1) = \varepsilon_{batt-PH-fr}\end{gathered} \quad (713)$$

Sinon

$$\theta_{an}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (714)$$

La masse volumique de l'air neuf s'écrit :

$$\rho_{an}(h) = \frac{\rho_{ref}.(273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{an}(h))} \quad (715)$$

En présence d'un puits hydraulique, la puissance de la pompe de ce dernier $W_{elec}^{PH,S}$ est transmise.

Température après impact du ventilateur de soufflage :

$$T^{s}_{sou1} = T^{s}_{AN} + \frac{3600 \times pel \times Pvent}{C_{pa} \times abs\left(\sum\left(\rho^{g,s}_{air\_souffle,prev} \times q^{g,s}_{soufflé,cond}\right)\right)} \quad (716)$$

La température après impact des pertes du réseau de soufflage situé hors volume chauffé

$$T^{g,s}_{sou2} = T^{s}_{sou1} - (T^{s}_{sou1} - T_{Lnc}) \times \left(1 - exp\left(-\frac{3600 \times H^{g,s}_{cond,souf,ex_t}}{C_{pa} \times \rho^{g,s}_{air\_souffle,prev} \times q^{g,s}_{soufflé,cond}}\right)\right) \quad (717)$$

Avec

$$T_{Lnc} = (1-b) \times \theta_{i,g,fin} + b \times \theta_{ext} \quad (718)$$

$$H^{g,s}_{cond,souf,ext} = \frac{A_{cond,souf,ext}}{R^{g,s}_{soufflé} + 0.02} \quad (719)$$

$$A_{cond,souf,ext} = (1 - Ratfuitevc) \times A^{g,s}_{cond,souf} \quad (720)$$

La température de l'air soufflé dans le groupe par le système *S* est définie comme suit :

$$T^{g,s}_{air\_soufflé} = T^{g,s}_{sou2} \quad (721)$$

L'humidité de l'air soufflé est :

$$\omega^{g,s}_{air\_soufflé} = \omega_{e,ext} \quad (722)$$

Masse volumique de l'air soufflé

$$\rho^{g,s}_{air\_souffle,} = \frac{\rho_{ref}.(273+\theta_{ref})}{(273+T^{g,s}_{air\_souffle})} \quad (723)$$

La température intérieure moyenne des groupes connectés et vue de la centrale d'insufflation pour la gestion du puits climatique est déterminée de la façon suivante :

$$\theta^{s}_{i,fin} = \frac{\sum^{zone}_{g}\left(\theta^{g,s}_{i,fin} \times \rho^{g,s}_{air\_souffle} \times q^{g,s}_{soufflé,cond}\right)}{\sum^{zone}_{g}\left(\rho^{g,s}_{air\_souffle} \times q^{g,s}_{soufflé,cond}\right)} \quad (724)$$

$$H_{vent} = C_{pa} \times abs\left(\sum\left(\rho^{g,s}_{air\_souffle,} \times q^{g,s}_{soufflé,cond}\right)\right) \quad (725)$$

6.6 C_VEN_Ventilation naturelle et hybride par conduits

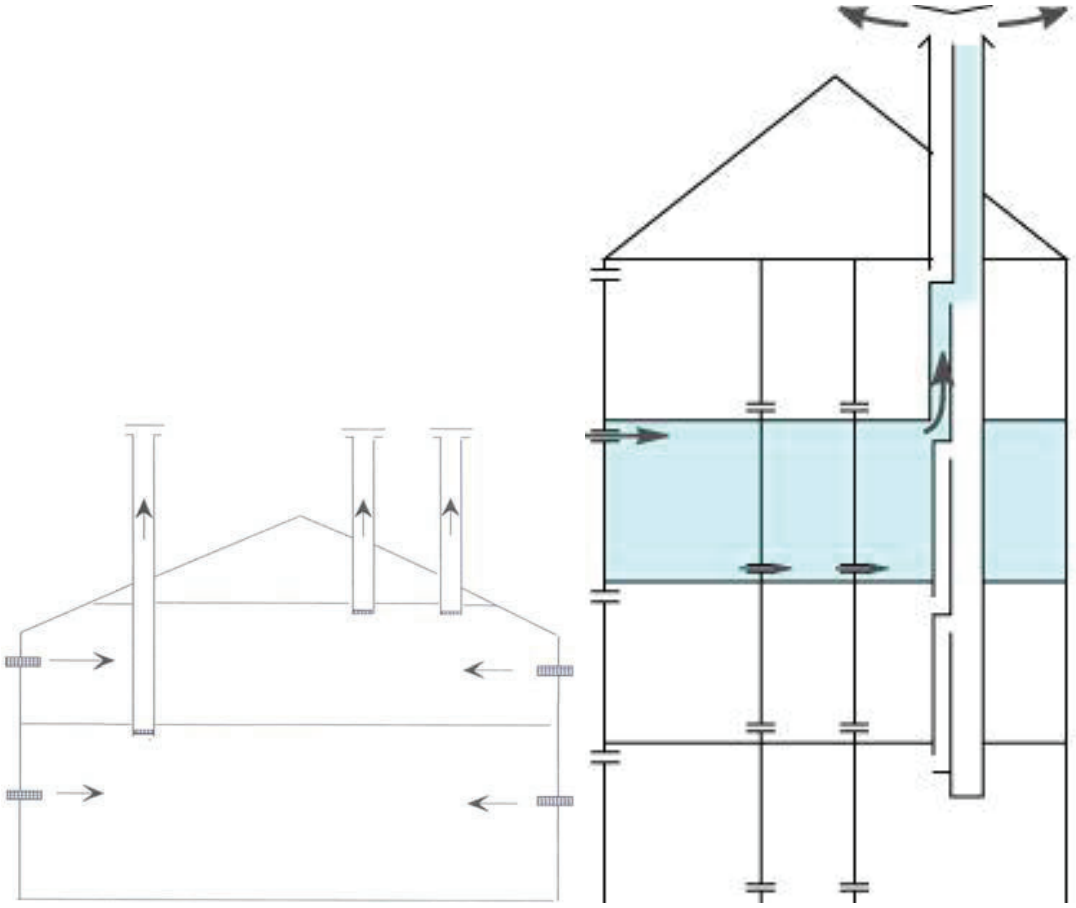
6.6.1 INTRODUCTION ET DEFINITION

Cette fiche algorithme décrit les deux systèmes de ventilation suivant :

- Le système de ventilation naturelle par conduits,
- Le système de ventilation hybride.

Ces dispositifs ne s'appliquent qu'aux usages de maison individuelle ou accolée et de logements collectifs.

Ventilation naturelle par conduit : c'est un système qui permet de ventiler naturellement (*tirage thermique et effets du vent*) un logement par des conduits individuels seuls ou des conduits individuels raccordés à des conduits collectifs.



Ventilation naturelle

Par conduit individuel *par conduits collectifs (Shunt)*

Figure 76 Schématisation de système de ventilation naturelle par conduit

Ventilation hybride : la ventilation hybride est un système qui bascule d'un mode mécanique à un mode naturel et inversement. Le dispositif mécanique permet ainsi de suppléer aux faiblesses éventuelles du tirage thermique et des effets du vent (tirage naturel).

6.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 66 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul des débits de ventilation spécifique pour le calcul du Bbio.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, *j* le jour de simulation, *s* la semaine de simulation et *m* le mois au sens de la décomposition faite pour les scénarios.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Environnement extérieur	$h_{leg}(h)$	Heure légale au pas de temps h.	h
	$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure au pas de temps h.	°C
	$\omega_{ext}(h)$	Poids d'eau dans l'air extérieur au pas de temps h	kg/kg as
	$\rho_{ext}(h)$	Masse volumique de l'air extérieur au pas de temps h.	kg/m^3
	$v_{vent,c}(h)$	Vitesse du vent issue des fichiers météorologiques	m/s
	$i_{occ,vent}(h)$	Indicateur d'occupation de la zone au sens de la ventilation.	Bool
	$Saison_{pro}(j)$	Indicateur de la saison	Ent
Résultats au pas de temps précédent	$\theta_{i,fin}(h\text{-}1)$	Température de l'air intérieur du groupe *gr* associé au système à la fin du pas de temps précédent	°C
	$\rho_{i,fin}(h\text{-}1)$	Masse volumique de l'air intérieur du groupe *gr* associé au système à la fin du pas de temps h.	kg/m^3
	$P_{ib}(h\text{-}1)$	Pression différentielle intérieure moyenne au niveau du sol calculée sur le pas de temps précédent, pour la zone considérée.	Pa

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Zone	id_{usage}	Usage de la zone considérée.	Entier	0	+∞	
	$\delta_{permea\_verticale}$	Indicateur de transferts d'air verticaux à l'intérieur de la zone (perméabilité verticale, voir définition dans fiche « *C_Bat_Débits d'air en Cep* »). *0 : pas de transferts verticaux entre niveaux* *1 : transferts verticaux possibles entre niveaux*	Bool	0	1	-
	h_{zone}	Hauteur du plancher de la zone par rapport au sol	m	0	+∞	-
	N_{id}	Nombre d'ensembles bouche équivalente/conduit/extracteur identiques	-	1	+∞	

Bouche fixe	A_{sect_base}	Section de base de la bouche d'extraction.	cm²	0	+∞	-
	A_{sect_pointe}	Section de pointe de la bouche d'extraction.	cm²	0	+∞	-
Bouche auto.	$[dP_{1,...,}dP_{6,}]$	Conditions de mesures de la bouche d'extraction autoréglable (pressions de référence).	Pa	0	+∞	-
	$[Q_{v1,...,}Q_{v6,}]$	Résultats de mesures de la bouche d'extraction autoréglable.	m^3/h	0	+∞	-
Propriétés du conduit	A_{cond}	Surface de l'enveloppe du conduit pour le calcul des fuites.	m²	0	+∞	-
	Per_{cond}	Périmètre du conduit de ventilation naturelle.	m	0	+∞	-
	h_{cond}	Hauteur équivalent du conduit de ventilation naturelle.	m	0	+∞	-
	h_{mot}	Hauteur de tirage thermique du conduit de ventilation naturelle.	m	0	+∞	-
	$Rat_{fuitevc}$	Ratio des fuites en volume chauffé du réseau de ventilation.	0	1	-	-
	K_{res}	Coefficient de fuite de réseau de ventilation (sous 1 Pa)	$m^3/(s.m^2)$	0	+∞	-
	dP_{ref}	Pression de référence dans le conduit pour le calcul des fuites	Pa	0	+∞	20
	R_{rep}	Résistance thermique de la partie du conduit de reprise située hors volume chauffé.	m^2K/W	0	+∞	-
	C_{rdbnr}	Coefficient de réduction des débits	Réel	0	1	1
	C_{dep}	Coefficient de dépassement	Réel	0	1.5	-
Ventilation hybride	$Dugd$	Durée d'Utilisation du grand débit exprimée en h/semaine	h	0	+∞	-
	$q_{spec,rep,conv\_pointe}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en pointe en résidentiel	m^3/h	0	+∞	-
	$q_{spec,rep,conv\_base}$	Débit volumique spécifique conventionnel repris en base en résidentiel	m^3/h	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_{type_vent}	Type de ventilation : *1 : Ventilation naturelle par conduit,* *2 : Ventilation hybride (naturelle assistée).*	-	1	2	-
id_{type_bouche}	Type de bouche d'extraction. *1 : bouche fixe,* *2 : bouche autoréglable.*	-	1	2	-
λ_{cond}	Coefficient de pertes de charge du conduit sur sa partie droite.	-	0	+∞	0.05

Extrat. statique	χ_{coud}	Coefficient de pertes de charge du coude équivalent représentant les confluences du réseau.	-	0	+∞	1.15
	$[v_{cond,s,j}]_{j=1 à 8}$	Tableau des valeurs de vitesse d'air dans le conduit pour lesquelles sont défini les C_{extr} (8 valeurs).	-	-∞	+∞	-
	$[C_{extr,j}]_{j=1 à 8}$	Tableau des valeurs de coefficient de dépression pour un vent horizontal de vitesse $V_{vent,réf}$ en fonction de la vitesse d'air dans le conduit (8 valeurs).	-	-∞	+∞	-
	$V_{vent,réf}$	Vitesse de vent de référence pour la caractéristique de l'extracteur statique.	m/s	0	+∞	8
	ξ_{extr}	Coefficient de perte de charge singulière de l'extracteur statique.	-	0	+∞	-
Ventilation hybriqde	$\theta_{ext,lim,hyb}$	Seuil de température pour le basculement du système de ventilation naturelle hybride en mode mécanique	°C	-40	+∞	-
	$v_{vent,c,lim,hyb}$	Seuil de vitesse de vent pour le basculement du système de ventilation naturelle hybride en mode mécanique	m/s	0	+∞	-
	$[h_{gd,1,deb}, h_{gd,1,fin}$ $h_{gd,2deb}, h_{gd,2,fin}]$	Horaires fixe (par rapport à h_{leg}) d'activation de l'assistance mécanique (voir **Tableau 68**).	h	1	24	
	$[v_{vent,reg,k}]_{k=1à10}$	Vecteur des vitesses de vent prises en compte pour les basculements entre régimes de fonctionnement.	m/s	0	+∞	-
	$[\theta_{ext,reg,l}]_{l=1à10}$	Vecteur des températures extérieures prises en compte pour les basculements entre régimes de fonctionnement.	m/s	0	+∞	-
	$[P_{vent,k,l}]_{k=1à10, l=1à10}$	Matrice des puissances de ventilateur de l'assistance mécanique pour le couple $[\theta_{ext}; v_{vent,c}]$ considéré.	W	0	+∞	-
	$P_{vent,pointe}$	Puissances de ventilateur de l'assistance mécanique en période de pointe.	W	0	+∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$A_{boucheeq}$	Section totale de l'ensemble des bouches d'extractions associées au système de ventilation naturelle par conduits.	m^2
$A_{section,cond}$	Aire de la section du conduit.	m^2
D_{cond}	Diamètre du conduit de reprise relié à l'extracteur.	m

	$A_{cond,rep,ext}$	Surface des conduits de reprise donnant sur l'extérieur	m^2
	$H_{cond,rep,ext}$	Conductivité thermique du conduit de reprise	W/K
	$v_{cond,s}$	Vitesse de l'air dans le conduit.	m/s
	$v_{cond,s,corr}$	Vitesse de l'air dans le conduit corrigé en fonction de la vitesse de vent au pas de temps h, pour la modélisation de l'extracteur.	m/s
Modélisation de l'extracteur statique	$v_{cond,s\_lim1}(h)$	Vitesse d'air limite 1 dans le conduit pour la modélisation de l'extracteur statique (voir paragraphe associé).	m/s
	$v_{cond,s\_lim2}(h)$	Vitesse d'air limite 2 dans le conduit pour la modélisation de l'extracteur statique (voir paragraphe associé).	m/s
	$C_{extr\_lim1}(h)$	Coefficient de dépression au niveau de l'extracteur pour une vitesse $v_{cond,s\_lim1}(h)$.	-
	$dP_{extr\_lim1}(h)$	Dépression au niveau de l'extracteur pour une vitesse $v_{cond,s\_lim1}(h)$.	Pa
	$dP_{extr\_lim2}(h)$	Dépression au niveau de l'extracteur pour une vitesse $v_{cond,s\_lim2}(h)$.	Pa
	C_{extr}	Coefficient de dépression de l'extracteur statique interpolé à partir de la vitesse de vent réelle et de la vitesse dans le conduit.	-
Bilan des pertes de charge du conduit	$dP_{bouche}(h)$	Pertes de charge associées à la bouche d'extraction équivalente associée au conduit.	Pa
	$dP_{cond}(h)$	Pertes de charge du conduit de ventilation naturelle.	Pa
	$dP_{coud}(h)$	Pertes de charge des confluences du conduit de ventilation naturelle, modélisées par un coude équivalent.	Pa
	$dP_{extr\_i}(h)$	Pertes de charge et effet moteur éventuel de l'extracteur statique.	Pa
	$dP_{mot}(h)$	Différence de pression associée au tirage thermique dans le conduit.	Pa
	$q_{v,fuites,dPref}$	Débit volumique de fuites du réseau à la pression dP_{ref}.	m^3/h
	$q_{v,bouches,dPref}$	Débit volumique à travers les bouches d'extraction à dP_{ref}.	m^3/h
	$[q_{v,fuites,dP1,...}, q_{v,fuites,dP6,}]$	Débits de fuites pour les différents points de mesure de la bouche autoréglable.	m^3/h
	$q_{v,bouches}(h)$	Débit volumique repris total au niveau des bouches, sans prise en compte des fuites du réseau.	m^3/h
	$q_{v,cond}(h)$	Débit volumique repris total avec prise en compte des fuites du réseau.	m^3/h
	$q_{v,rep,uites}(h)$	Débit volumique repris au travers des fuites de réseau.	m^3/h
	$q_{rep,dep}(h)$	Débit repris tenant du coefficient de dépassement de la bouche équivalente.	m^3/h
	$q_{v,sou,fuites}(h)$	Débit volumique soufflé au travers des fuites de réseau.	m^3/h

$q_{sou,dep}(h)$	Débit soufflé tenant du coefficient de dépassement de la bouche équivalente.	m^3/h
$\theta_{et}(h)$	Température des espaces tampons prise en compte pour les déperditions du réseau hors volume chauffé.	°C

Sorties

Nom	Description	Unité
$q_{v,spec,rep}(h)$	Débit volumique spécifique repris au niveau du groupe pour le système de ventilation naturelle.	m^3/h
$T_{extr1}(h)$	Température de l'air repris après impact des pertes du conduit, au niveau de l'extracteur.	°C
$C_{vent}(h)$	Consommation du ou des ventilateurs pour le groupe.	Wh
$q_{v,spec,souf}(h)$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe pour le système de ventilation naturelle en refoulement.	m^3/h
$T_{air\_soufflé}(h)$	Température de l'air soufflé dans le groupe en refoulement (en provenance de l'extérieur)	°C
$\omega_{air\_soufflé}(h)$	Humidité de l'air soufflé dans le groupe en refoulement (en provenance de l'extérieur)	kg/kga s

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_d	Coefficient de décharge.	Réel	0,68
g	Accélération de la pesanteur.	$m.s^{-2}$	9,81

Tableau 66 : Nomenclature du modèle

6.6.3 *DESCRIPTION MATHEMATIQUE*

Du point de vue de l'organisation des calculs, les systèmes de ventilation naturelle par conduits (ou hybrides) sont pris en compte comme un système de ventilation standard :

- dans un premier temps, la méthode prévoit un calcul du débit total dans les conduits du système, ainsi que les propriétés de l'air extrait, sur la base de la pression intérieure (Pib) calculée sur l'heure précédente. A ce titre, la présente fiche se substitue à la fiche *C_Ven_Bouche et conduit*.

- dans un second temps, ce débit moyen approché est considéré fixe dans le bilan aéraulique, permettant d'aboutir à la pression intérieure au pas de temps actuel.

Dans le cas de la ventilation hybride, on intègre également un calcul de la consommation des ventilateurs, sur la base d'une gestion en fonction de la température extérieure et de la vitesse de vent.

Les systèmes de ventilation naturelle par conduits et de ventilation hybride tels que décrits dans la présente fiche ne s'appliquent qu'aux usages de maison individuelle ou accolée et de logements collectifs.

Les hypothèses retenues sont les suivantes:

- dans le cas d'un conduit Shunt, on modélise un conduit équivalent d'une hauteur égale à la différence d'altitude entre le débouché et la moyenne des hauteurs des bouches raccordées.

- dans le cas de conduits unitaires, chaque conduit est modélisé sur la base de ses vrais caractéristiques.

- si plusieurs bouches d'extraction sont connectées à un même conduit, on décrit une bouche équivalente dont les caractéristiques de dimensionnement sont calculées sur la base de la somme de toutes les bouches raccordées,

- chaque conduit dispose de son propre extracteur.

6.6.3.1 ***Calcul du débit dans le conduit en ventilation naturelle***

Le débit dans un conduit $q_{v,cond}(h)$ est obtenu par résolution d'un bilan aéraulique de la conduite de ventilation naturelle depuis l'intérieur du logement jusqu'à l'extérieur. Il peut être positif (situation normale, extraction) ou négatif (refoulement dans le conduit).

Ainsi, dans un premier temps, on exprime chacun des termes suivants en fonction du débit volumique dans la conduite de ventilation naturelle $q_{v,cond}$(h):

- la perte de charge des bouches d'extraction, dP_{bouche}, en prenant en compte le débit total incluant les fuites des conduits,

- la perte de charge du conduit, dP_{cond},

- les pertes de charge aux confluences, dP_{coud}, conventionnellement représentées par un coude de coefficient de perte de charge, χ_{coud} (adimensionnel).

- la perte de charge et l'effet moteur éventuel statique des dispositifs de couronnement dP_{extr},

- l'effet moteur associé au tirage thermique dans la conduite dP_{mot}, fonction de h_{mot}, différence d'altitude entre le point de référence pour le calcul de P_{ib} et le débouché de conduit.

Dans un second temps, on résout numériquement l'équation :

$$F(q_{v,cond}) = dP_{extr,s} + dP_{cond} + dP_{coude} + dP_{bouche} - dP_{mot} = 0 \quad (726)$$

6.6.3.1.1 Bouches d'extraction fixe: id_{type_bouche} =1

Dans le cas d'une bouche d'extraction fixe, il convient de renseigner les sections en base et en pointe en cm^2 (les sections seront converties en m^2 pour le logiciel).

$$A_{boucheeq} = 0.0001 \times \frac{Dugd \times \left(A_{sect\_pointe}\right) + (168 - Dugd) \times \left(A_{sect\_base}\right)}{168} \quad (727)$$

Dans la pratique, ces caractéristiques sont souvent définies en grand débit et en petit débit. Pour passer du petit débit au grand débit, on utilise un dispositif permettant d'agrandir les sections des bouches.

On considère que la pression de référence pour le calcul du débit par les bouches et par les fuites est la même :

$$q_{v,fuites,dPref} = 3600 \times Kres \times A_{cond} \times dP_{ref}^{0.667} \quad (728)$$

$$q_{v,bouche,dPref} = 3600 \times C_d \times A_{boucheeq} \times \left(\frac{2}{\rho_{ref}} \times dP_{ref}\right)^{0.5} \quad (729)$$

Note : cette dernière équation est issue de l'application du théorème de Bernoulli à la bouche d'extraction.

A un débit dans le conduit donné, on réalise un calcul approché de la différence de pression au niveau de la bouche, en considérant que l'ensemble bouche et fuites se comportent selon la loi de la bouche :

$$dP_{bouche} = dP_{ref} \times \frac{q_{v,cond} \times ABS(q_{v,cond})}{\left(q_{v,bouche,dPref} + q_{v,fuites,dPref}\right)^2} \quad (730)$$

6.6.3.1.2 Bouche d'extraction autoréglable: id_{type_bouche} =2

Dans le cas de bouches d'extraction autoréglable, on se conformera à la courbe caractéristique définie suivant la norme EN 13141-2 sous une différence de pression de référence dP_n. Les valeurs de débit moyen (m^3/h) sont évaluées pour les points 1 à 6 d'échantillonnage de dP_{bouche}, afin de couvrir la gamme opérationnelle du dispositif comme indiquée par le fabricant.

Par conséquent, les valeurs à renseigner prennent la forme du tableau suivant :

Mesure (indice j)		1	2	3	4	5	6
dP (Pa)	$dP_0=0$	dP_1	dP_2	dP_3	dP_4	dP_5	$dP_6 = dP_{max}$
Débit moyen (m^3/h)	$q_{v0}=0$	q_{v1}	q_{v2}	q_{v3}	q_{v4}	q_{v5}	$q_{v6} = q_{v,max}$

Tableau 67 : Courbe caractéristiques d'une bouche autoréglable

A partir de ce tableau de caractéristiques, il est possible d'exprimer la différence de pression dP_{bouche} en fonction du débit $q_{v,cond}$, via l'algorithme suivant.

On définit également pour chaque valeur de dP (chaque indice j), un débit de fuite correspondant :

$$q_{v,fuites,dPj} = 3600 \times Kres \times A_{cond} \times dP_j^{0.667} \quad (731)$$

Si $q_{v,cond} > q_{v,\max} + q_{v,fuites,dP6}$, alors,

$$q_{v,fuites,d\,Pref} = q_{v,fuites,dP6}$$

$$dP_{bouche} = dP_{\max} \times \left(\frac{q_{v,cond}}{q_{v,\max} + q_{v,fuites,d\,Pref}} \right)^2 \quad (732)$$

Sinon, si $q_{v,cond} \leq q_{v,0}$, alors, *(refoulement)*

$$q_{v,fuites,d\,Pref} = q_{v,fuites,dP1}$$

$$dP_{bouche} = -dP_1 \times \left(\frac{q_{v,cond}}{q_{v,1} + q_{v,fuites,d\,Pref}} \right)^2 \quad (733)$$

Sinon, *(cas $q_{v,0} < q_{v,cond} < q_{v,\max}$, on interpole linéairement entre les valeurs de débits)*

Si $q_{v,cond} \leq q_{v,1} + q_{v,fuites,dP1}$, alors,

$$q_{v,fuites,d\,Pref} = q_{v,fuites,dP1}$$

$$dP_{bouche} = dP_1 \times \left(\frac{q_{v,cond}}{q_{v,1} + q_{v,fuites,d\,Pref}} \right)^2 \quad (734)$$

Sinon,

Soit l'indice entier j correspondant aux colonnes du Tableau 67 :
j =1
Tant que $q_{v,cond} > q_{v,j} + q_{v,fuites,dPj}$, faire,
j =j+1 ;
Fin du « tant que » (735)

$$dP_{bouche} = dP_{j-1} + \frac{dP_j - dP_{j-1}}{q_{v,j} + q_{v,fuites,dPj} - q_{v,j-1} - q_{v,fuites,dPj-1}} \times (q_{v,cond} - q_{v,j-1} - q_{v,fuites,dPj-1})$$

6.6.3.1.3 Pertes de charge du conduit

On considère que la température dans les conduits est toujours égale à la température d'air intérieur du groupe.

On définit pour chaque conduit un conduit équivalent de la façon suivante :

- Pour un conduit shunt, on retient le périmètre et la section réels du conduit Per_{cond} et $A_{section,cond}$. La hauteur équivalente h_{cond} doit être prise égale à la différence d'altitude entre le débouché et la moyenne des hauteurs entre la bouche d'extraction la plus haute et la bouche d'extraction la plus basse, plus la hauteur conventionnelle de la bouche par rapport au sol.

- Pour les conduits unitaires, on travaille conduit par conduit en fonction de leurs caractéristiques réelles.

Dans le cas de la **ventilation naturelle** par conduit et de la **ventilation hybride**, la surface du

conduit relié au groupe de ventilation *s* (extracteur) est définie comme suit :

$$A_{section,cond} = \frac{Per_{cond}^{\ 2}}{4\pi} \quad (736)$$

Le diamètre du conduit est défini comme suit :

$$D_{cond} = \frac{4 \times A_{section,cond}}{Per_{cond}} \quad (737)$$

La vitesse de l'air dans le conduit est définie comme suit :

$$v_{cond,s} = \frac{q_{v,rep,cond}}{A_{section,cond} \times 3600} \quad (738)$$

Les pertes de charges linéaires du conduit sont aussi calculées :

$$dP_{cond} = 0.5 \times \lambda_{cond\_i} \times \left(\frac{h_{cond}}{D_{cond}} \right) \times \rho_{int} \times v_{cond,s} \times abs\left(v_{cond,s}\right) \quad (739)$$

Les pertes de charges singulières du conduit :

$$dP_{coude} = 0.5 \times \chi_{coude} \times \rho_{int} \times v_{cond,s} \times abs\left(v_{cond,s}\right) \quad (740)$$

6.6.3.1.4 Prise en compte de l'extracteur

6.6.3.1.4.1 Caractérisation de l'extracteur

La prise en compte du comportement statique des extracteurs est réalisée par l'intermédiaire de la courbe caractéristique décrivant les valeurs du coefficient de dépression (C_{extr}), telle que décrite dans la norme EN 13141-5. La courbe est obtenue expérimentalement sous un vent de 8 m/s et pour différentes vitesses d'air dans le conduit, dans les conditions suivantes :

	Vent de référence =8 m/s							
Indice *j*	1	2	3	4	5	6	7	8
$v_{cond,s,j}$	0 m/s	0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s	2 m/s	3 m/s	4 m/s	8 m/s

Pour chacun des essais, une valeur $C_{extr,j}$ est à renseigner.

Pour se placer dans les conditions de vent du pas de temps, on corrige la vitesse de conduite pour réaliser l'interpolation entre les valeurs du tableau :

$$v_{cond,s,corr} = v_{cond,s} \times \frac{v_{vent\_réf}}{v_{vent.c}(h)} \quad (741)$$

Ces coefficients ne sont valables que sur l'intervalle de vitesses dans le conduit prévu par la courbe. En dehors de cet intervalle, on utilise la courbe de modélisation de l'extracteur sans vent, basé sur le coefficient de pertes de charge singulière ξ_{extr}, lui aussi issu d'une procédure d'essai. Ceci est justifié par le fait que pour un ratio vitesse dans le conduit sur vitesse du vent élevé, l'effet du vent devient négligeable.

Les courbes monotones d'un extracteur sont présentées à titre illustratif sur le graphe suivant.

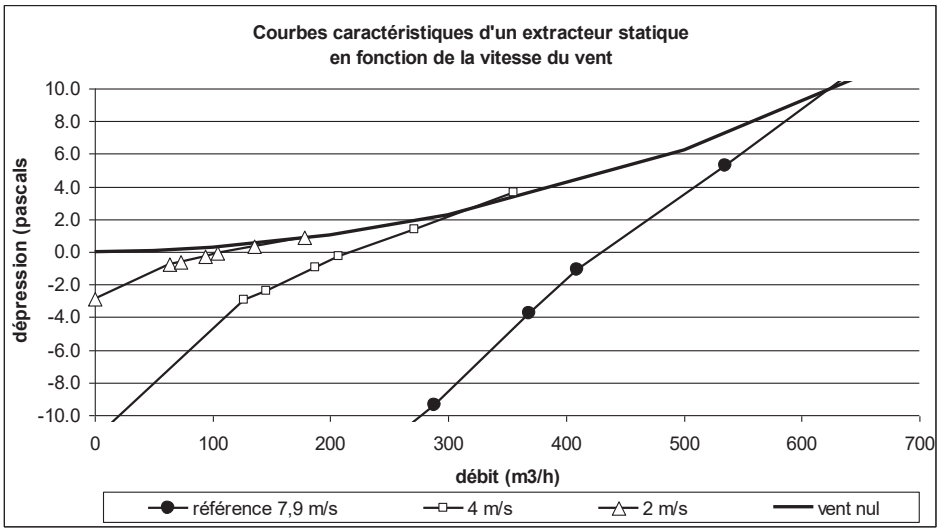


Figure 77: Exemple de profils de dépression de l'extracteur (en Pa) en fonction du débit dans le conduit, pour différentes vitesses de vent

On définit deux grandeurs v_{cond,s_lim1} et v_{cond,s_lim2} permettant le choix du modèle à utiliser, ainsi que les valeurs de pertes de charge dP_{extr} associées. Le calcul de ces valeurs n'est réalisé qu'en cas de vitesse de vent $v_{vent,c}(h)$ non-nulle.

Si $v_{vent.c}(h) > 0$, *alors :*

- v_{cond,s_lim1} correspond au dernier point d'essai de la courbe caractéristique :

$$v_{cond,s,\_\lim1}(h) = v_{cond,s,8} \times \frac{v_{vent\_réf}}{v_{vent.c}(h)} \quad (742)$$

$$C_{extr\_\lim1}(h) = C_{extr,8} \quad (743)$$

$$dP_{extr\_\lim1}(h) = \frac{1}{2}\rho_{ext}(h).C_{extr\_\lim1}(h).\left(v_{vent.c}(h)\right)^2 \quad (744)$$

- v_{cond,s_lim2} est la valeur approchée de vitesse dans le conduit pour laquelle la dépression au niveau de l'extracteur calculée à partir du modèle sans vent dépasse celle calculée à partir de la courbe caractéristique pour le vent réel.

  v_{cond,s_lim2} est déterminé à chaque pas de temps par l'algorithme suivant :

  Soit un entier n initialisé à 2 à chaque pas de temps.

  Tant que $\frac{1}{2}.\left(\frac{\rho_{int,fin}(h-1)+\rho_{ext}(h)}{2}\right).\xi_{extr}.\left(n.v_{cond,s,\_\lim1}(h)\right)^2 < dP_{extr\_\lim1}(h)$

  et n<20, faire,

  n = n+1 ;

  Fin du tant que. (745)

$$v_{cond,s,\_\lim2}(h) = n.v_{cond,s,\_\lim1}(h)$$

$$dP_{extr\_\lim2}(h) = \frac{1}{2}.\left(\frac{\rho_{int,fin}(h-1)+\rho_{ext}(h)}{2}\right).\xi_{extr}.\left(v_{cond,s,\_\lim2}(h)\right)^2$$

6.6.3.1.4.2 Expression de la dépression de l'extracteur en fonction de la vitesse dans le conduit

Soit la vitesse dans le conduit $v_{cond,s}$ calculée en équation (738) et la vitesse du vent au pas de temps h $v_{vent,c}(h)$. On distingue les cas suivants :

- Cas $v_{cond,s} \leq 0$ (*refoulement*) : on prend la valeur de C_{extr} correspondant à $v_{cond,s} = 0$

$$C_{extr} = C_{extr,1}$$
$$dP_{extr} = \frac{1}{2}\rho_{ext}(h).C_{extr}.v_{vent.c}(h)^2 \quad (746)$$

- Cas $v_{vent,c}(h) > 0$ et $0 < v_{cond,s} \leq v_{cond,s,\_lim1}(h)$

On se situe sur la plage de fonctionnement correspondant aux courbes caractéristiques des extracteurs, telles que définies dans la norme EN 13141-5.

On interpole entre les valeurs de $C_{extr,j}$:

Soit l'indice entier j correspondant aux colonnes du Tableau 67:
j =2
Tant que $v_{cond,s,corr} > v_{cond,s,j}$ *, faire,*
j =j+1 ;
Fin du « tant que » (747)

$$C_{extr} = C_{extr,j-1} + \frac{C_{extr,j} - C_{extr,j-1}}{v_{cond,s,j} - v_{cond,s,j-1}} \times (v_{cond,s,corr} - v_{cond,s,j-1})$$

L'expression de dP_{extr} en fonction de la vitesse de vent est la suivante :

$$dP_{extr} = \frac{1}{2}\rho_{ext}(h).C_{extr}.v_{vent.c}(h)^2 \quad (748)$$

- Cas $v_{vent,c}(h) > 0$ et $v_{cond,s,\_lim1}(h) < v_{cond,s} \leq v_{cond,s,\_lim2}(h)$

On se situe sur la transition entre le modèle sans vent basé sur les pertes de charge singulière et le modèle de la courbe caractéristique.

On interpole entre les deux valeurs limites :

$$dP_{extr} = \left(\frac{v_{cond,s} - v_{cond,s,\_lim1}(h)}{v_{cond,s,\_lim2}(h) - v_{cond,s,\_lim1}(h)}\right).\left(dP_{extr\_lim2}(h) - dP_{extr\_lim1}(h)\right) + dP_{extr\_lim1}(h) \quad (749)$$

- Cas $v_{vent,c}(h) > 0$ et $v_{cond,s}(h) > v_{cond,s,\_lim2}(h)$ ou $v_{vent.c}(h) = 0$ m/s ($\forall v_{cond,s} > 0$) :

On utilise le modèle sans vent basé sur les pertes de charge singulière :

$$dP_{extr} = \frac{1}{2}.\left(\frac{\rho_{int,fin}(h-1) + \rho_{ext}(h)}{2}\right).\xi_{extr}.\left(v_{cond,s}\right)^2 \quad (750)$$

6.6.3.1.5 Calcul du tirage thermique

Pour un conduit i donné, le tirage thermique est exprimé comme suit :

$$dP_{mot,s} = h_{mot,s} \times g \times \left(\rho_{ext}(h) - \rho_{\text{int},fin}(h-1)\right) + P_{ib}(h-1) \quad (751)$$

Elle dépend donc de la différence de température intérieur/extérieur, de la hauteur de tirage thermique et de la pression dans la zone (dans le groupe donc).

La hauteur de tirage thermique est un paramètre pouvant faire l'objet d'une définition par défaut, en fonction de l'indicateur de transferts d'air entre niveaux de la zone $\delta_{permea\_verticale}$:

- $\delta_{permea\_verticale} = 0$: pour les zones dont les niveaux sont étanches entre eux, le calcul s'effectue conventionnellement à mi-hauteur de la zone. En considérant une différence d'altitude de 2 m entre la bouche et le sol, on retient par défaut :

$$h_{mot,s} = h_{cond,s} + 2 \ (m) \quad (752)$$

- $\delta_{permea\_verticale} = 1$: pour les zones où les transferts d'air entre niveaux sont possibles et significatifs (hauteur de zone supérieure à 3m), la valeur par défaut est la suivante :

$$h_{mot,s} = h_{zone} + 2\,(m) \quad (753)$$

La sortie de toiture est supposée à 2 m au-dessus du plancher haut de la zone.

6.6.3.2 *Calculs des débits repris (ou refoulés)*

6.6.3.2.1 Ventilation naturelle

Comme il est possible d'avoir plusieurs conduits identiques, on définit alors le nombre de conduit identique par N_{id}. On identifie le débit repris par les bouches et le débit repris total (hors et dans le volume chauffé) en imposant que leur somme est égale au débit total dans le conduit $q_{v,cond}$.

Le débit $q_{v,cond}$ peut être positif (repris) ou négatif (soufflé). Selon le cas, on adapte le jeu de données de sortie.

Note : ci-dessous, les débits d'indice « *rep* » ou « *souf* » sont considérés du point de vue du groupe étudié, alors qu'on se plaçait du point de vue du conduit dans la résolution. Il y a donc inversion de signe.

Les coefficients *Cdep* et *Crdbnr* sont déterminés selon les modalités de la fiche « *C_Ven_Bouche et conduit* ». On rappelle qu'en maison individuelle ou accolée et logements collectifs, *Crdbnr* est conventionnellement égal à 1.

Cas $q_{v,cond} \geq 0$ **:**

Le débit de fuites total pour l'ensemble de conduits identiques est défini comme suit :

$$q_{rep,fuites}(h) = -\frac{Kres \times A_{cond} \times ABS(dP_{bouche})^{0.167}}{C_d \times A_{boucheeq} \times \left(\frac{2}{\rho_{ref}}\right)^{0.5} + Kres \times A_{cond} \times ABS(dP_{bouche})^{0.167}} \times N_{id} \times q_{v,cond} \quad (754)$$

Les débits aux bouches pour l'ensemble des conduits identiques, en tenant compte de la régulation et du coefficient de dépassement, sont définis comme suit :

$$q_{rep,dep}(h) = -C_{dep} \times C_{rdbnr} \times (N_{id} \times q_{v,cond} + q_{rep,fuites}(h)) \quad (755)$$

Les débits insufflés sont nuls :

$$q_{souf,fuites}(h) = 0$$
$$q_{souf,dep}(h) = 0 \quad (756)$$

Cas $q_{v,cond} < 0$ **:**

Dans ce cas, les débits insufflés sont

$$q_{souf,fuites}(h) = -\frac{Kres \times A_{cond} \times ABS(dP_{bouche})^{0.167}}{C_d \times A_{boucheeq} \times \left(\frac{2}{\rho_{ref}}\right)^{0.5} + Kres \times A_{cond} \times ABS(dP_{bouche})^{0.167}} \times N_{id} \times q_{v,cond} \quad (757)$$

$$q_{souf,dep}(h) = -C_{dep} \times C_{rdbnr} \times (N_{id} \times q_{v,cond} + q_{souf,fuites}(h))$$

Les débits repris sont nuls :

$$q_{rep,fuites}(h) = 0$$
$$q_{rep,dep}(h) = 0 \quad (758)$$

6.6.3.2.2 Ventilation hybride : prise en compte de l'assistance mécanique

Ce paragraphe décrit l'assistance mécanique des systèmes de ventilation hybride (naturelle assistée). Ce système ne s'applique qu'au secteur résidentiel.

On considère que le système peut fonctionner en naturel pur ou en mode mécanique.

Le passage d'un mode à l'autre s'effectue en fonction:

- de créneaux horaires fixes,
- des conditions météorologiques (vitesse de vent et température d'air extérieur).

Conventionnellement, on considère que les horaires d'utilisation du grand débit en cuisine sont les suivants :

D_{ugd}	id_{usage}	Horaires de passage en grands débits au sens de $h_{leg}(h)$
0 (pas de grand débit)	/	Non appliqué
>0	Maison Individuelle ou accollée	$h_{gd,1,deb}$ =11h à $h_{gd,1,fin}$ =12h $h_{gd,2,deb}$ =18h à $h_{gd,2,fin}$ =19h
	Logement Collectif	$h_{gd,1,deb}$ =11h à $h_{gd,1,fin}$ =13h $h_{gd,2,deb}$ =18h à $h_{gd,2,fin}$ =20h

Tableau 68 : Horaires d'utilisation du grand débit cuisine en ventilation hybride

En dehors de ces plages horaires, le débit de base est imposé par l'assistance mécanique lorsque :

- la vitesse de vent est inférieure à la vitesse de consigne $v_{vent,c,lim,hyb}$,
- la température d'air extérieur est supérieure à la température de consigne.

Le débit repris, s'appliquant en occupation et en inoccupation, est alors calculé comme celui d'un système mécanique simple flux standard.

Les coefficients *Cdep* et *Crdbnr*, ainsi que la durée *Dugd*, sont déterminés selon les modalités de la fiche « *C_Ven_Bouche et conduit* ». On rappelle qu'en maison individuelle ou accolée et logements collectifs, *Crdbnr* est conventionnellement égal à 1.

Au final l'algorithme est le suivant :

$$Si \begin{cases} h_{leg}(h) \in [h_{gd,1,deb}; h_{gd,1,fin}] \\ ou \\ h_{leg}(h) \in [h_{gd,2,deb}; h_{gd,2,fin}] \end{cases} \quad ou\ (v_{vent,c}(h) < v_{vent,c,\lim hyb} \ et\ \theta_{ext}(h) > \theta_{ext,\lim hyb}),\ alors,$$

$$q_{rep,dep}(h) = -Cdep \times Crdbnr \times \frac{q_{spec,rep,conv\_pointe} \times Dugd + q_{spec,rep,conv\_base} \times (168 - Dugd)}{168}$$

$$q_{rep,fuites}(h) = -N_{id} \times 3600 \times Kres \times A_{cond} \times dP_{ref}^{0.667} \qquad (759)$$

$$\begin{cases} q_{souf,fuites}(h) = 0 \\ q_{souf,dep}(h) = 0 \end{cases}$$

Sinon,

On applique le calcul de débit en ventilation naturelle (voir 6.6.3.1 et 6.6.3.2.1).

Note : lorsque l'assistance mécanique est activée, les débits de fuites sont calculés sur la base du dP_{ref} (20Pa) correspondant à la basse pression.

6.6.3.2.3 Débit repris spécifique

Au final, que l'on soit en ventilation naturelle par conduit ou en assistance mécanique (ventilation hybride), on définit le débit repris spécifique (pour le calcul du P_{ib}) comme suit :

$$q_{v,spec,rep}(h) = q_{rep,dep}(h) + Rat_{fuitevc} \times q_{rep,fuites}(h) \qquad (760)$$

Note : exceptionnellement ce débit noté repris, peut être positif, ce qui correspond à une situation de refoulement.

6.6.3.3 *Calcul des consommations d'énergie des ventilateurs*

L'assistance mécanique fonctionne suivant une matrice de régulation modulant la puissance du ventilateur en fonction du tirage naturel à compléter.

Il convient donc de connaitre :

- les valeurs de températures extérieures (*l* valeurs) et de vitesses de vent (*k* valeurs) provoquant des basculements entre régimes de fonctionnement,
- les valeurs de puissance consommée par les ventilateurs d'assistance pour les différents couples de valeurs de températures extérieures et de vitesses de vent (*k x l* valeurs).
- la valeur de puissance pour les périodes de passage en débits de pointe.

A minima, $P_{vent,1,1}$, $\theta_{ext,lim,hyb}$ et $V_{vent,c,lim,hyb}$ doivent être définis.

Si plus d'un point de fonctionnement est défini, on vérifiera :

$$\begin{cases} \forall k, \quad 0 \le v_{vent,reg,k} \le v_{vent,reg,k-1} \le v_{vent,reg,1} < v_{vent,c,\lim hyb} \\ \forall l, \quad \theta_{ext,reg,l} \ge \theta_{ext,reg,l-1} \ge \theta_{ext,reg,1} > \theta_{ext,\lim hyb} \end{cases}$$

On note k_{max}, la dimension du vecteur des $[v_{vent,reg,k}]$, et l_{max}, la dimension du vecteur des $[\theta_{ext,reg,l}]$. Le paramétrage est limité à $k_{\max} < 10$ et $l_{\max} < 10$.

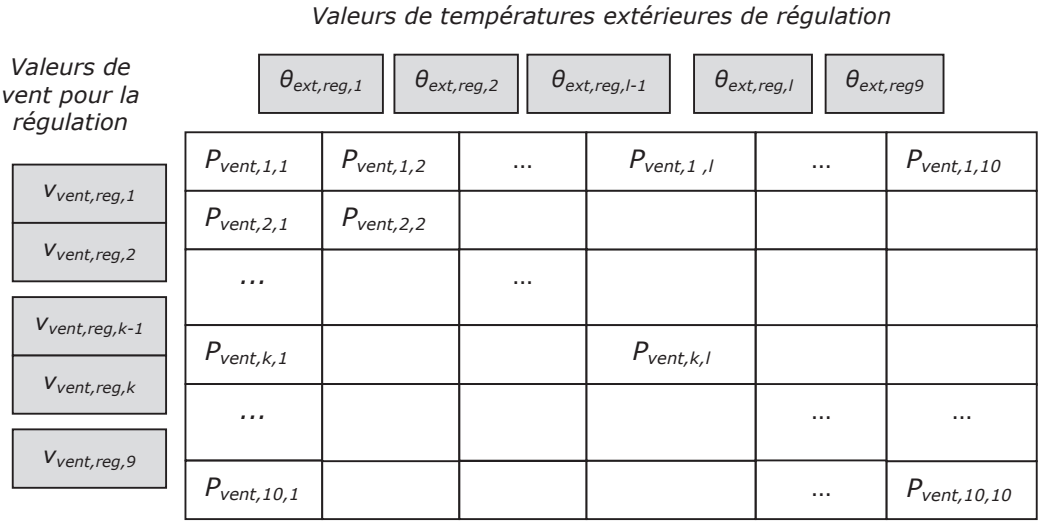


Figure 78 : Format de la description mathématique du comportement de l'assistance mécanique : P_{vent} (W), en fonction des couples θ_{ext}(°C) et $v_{vent,c}$(m/s)

Au final l'algorithme est le suivant :

Si $\begin{cases} h_{leg}(h) \in [h_{gd,1,deb}\,;h_{gd,1,fin}] \\ ou \\ h_{leg}(h) \in [h_{gd,2,deb}\,;h_{gd,2,fin}] \end{cases}$ *, alors, (passage en grand débit)*

$$C_{vent}(h) = P_{vent,po\,int\,e}$$

Sinon, si $v_{vent,c}(h) < v_{vent,c,\lim hyb}$ et $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext,\lim,hyb}$, *alors, (besoin d'assistance mécanique)*

Soit k et l des entiers correspondant aux indices décrits en figure 3,
k = 1
l = 1

Tant que $v_{vent,c}(h) < v_{vent,reg,k+1}$ *et k< k_{max}, faire,* (761)

k =k+1 ;
Fin du « tant que »

Tant que $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext,reg,l+1}$ *et l<l_{max}, faire,*

l =l+1 ;
Fin du « tant que »

$$C_{vent}(h) = P_{vent,k,l}$$

Sinon, *(pas besoin d'assistance)*

$$C_{vent}(h) = 0 \quad (Wh)$$

6.6.3.4 *Calcul des températures*

6.6.3.4.1 Calcul des températures dans le cas de l'extraction.

Température après impact pertes conduit :

$$T_{extr1}(h) = \theta_{i,g,fin}(h-1) - \left(\theta_{i,g,fin}(h-1) - \theta_{et}(h)\right) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{H_{cond,rep,ext}}{0.34 \times \left(abs\left(q_{v,cond}(h)\right)\right)}\right)\right) \quad (762)$$

Avec

$$\theta_{et}(h) = (1-b) \times \theta_{i,g,fin}(h) + b \times \theta_{ext}(h) \quad (763)$$

$$H_{cond,rep,ext} = \frac{A_{cond,rep,ext}}{R + 0.02} \quad (764)$$

Et :

$$A_{cond,rep,ext} = \left(1 - Rat_{fuitevc}\right) \times A_{cond,rep} \quad (765)$$

6.6.3.4.2 Calcul des températures et des humidités spécifiques dans le cas du refoulement

En refoulement, on considère que l'air soufflé est à température et humidité spécifique extérieure.

$$T_{air\_souffle}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (766)$$

$$\omega_{air\_souffle}(h) = \omega_{ext}(h) \quad (767)$$

6.7 C_VEN_Ventilation_naturelle_par_ouverture_de_fenêtres

6.7.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit les systèmes de ventilation naturelle par ouverture de fenêtres. Elle décrit le calcul des débits d'air, de la température et de l'humidité de l'air.

La ventilation par ouverture des fenêtres est représentée à l'aide d'une fenêtre équivalente par groupe.

La ventilation par ouverture des fenêtres est traitée au niveau de chaque groupe qui en est équipé.

6.7.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 69 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul des débits de ventilation spécifique pour le calcul du Cep.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
I_{vent}	Indicateur de ventilation de la zone (Occ / Inocc)	Bool
$q^{g}_{spec\_souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé	m^3/h
wext	Poids d'eau dans l'air extérieur au pas de temps h	kg/kgas
θ_{ext}	Température extérieure au pas de temps h	°C
T_{air_out}	Température en sortie de l'espace tempon	°C
$I_{climatique}$	Indique si l'air neuf fourni par la fenêtre transite au préalable par un espace tampon	bool

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

Variables internes

Nom	Description	Unité			
T^{g}_{AN}	Température de l'air neuf vu par la fenêtre	°C	-∞	+∞	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$T^{g}_{air\_souffle}$	Température de l'air soufflé dans le groupe (en provenance de l'extérieur ou d'autres groupes)	°C
$\omega^{g}_{air\_souffle}$	Humidité de l'air soufflé dans les groupes (sortie CTA)	kg/kgas
$q^{g}_{spec\_souffle}$	Débit volumique spécifique soufflé	m^3/h

Tableau 69 : Nomenclature du modèle

6.7.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

6.7.3.1 ***Calcul de températures***

Dans le cas où **l'air neuf fourni** par la fenêtre transite au préalable par **un espace tampon** on a $I_{climatique} = vrai$. Dans le cas contraire $I_{climatique} = Faux$.

Si $I_{climatique} = vrai$,

$$T_{AN}^{g} = T_{air\_out} \quad (768)$$

Si $I_{climatique} = Faux$,

$$T_{AN}^{g} = \theta_{ext} \quad (769)$$

La température de l'air fourni est donc :

$$T_{air\_soufflé}^{g} = T_{AN}^{g} \quad (770)$$

6.7.3.2 ***Calcul de Humidité***

L'humidité de l'air neuf fourni au groupe par la fenêtre est défini comme suit :

$$\omega_{air\_soufflé}^{g} = \omega_{ext} \quad (771)$$

6.8 C_VEN_Puits climatique

6.8.1 INTRODUCTION

Le puits climatique (ou encore puits canadien ou provençal) est constitué d'un ensemble de conduits enterrés dans le sol dans lesquels circulent l'air neuf qui sera ensuite insufflé dans le bâtiment par le système de ventilation (nécessairement un système double-flux ou par insufflation).

Le puits climatique assure ainsi une fonction de préchauffage ou de prérafraichissement de l'air neuf selon la période de l'année, dans la mesure où la température du sol est relativement stable par rapport à la température extérieure.

L'utilisation du puits climatique n'est pas forcément pertinente en permanence. Par conséquent, il est généralement prévu une fonction de bypass de ce dernier, contrôlée sur la base de ses températures d'air d'entrée (air extérieur) et éventuellement de sortie (air en entrée de la centrale de ventilation).

Dans le cas d'une association avec une centrale double-flux à récupération de chaleur, une fonction de bypass de l'échangeur thermique peut être prévue en fonction de la température en sortie de puits climatique et de la température extérieure (voir fiche *C_Ven_Ventilation_Mecanique_Double_Flux*), de manière à profiter au mieux du rafraichissement.

En période d'hiver, la centrale de ventilation couplée au puits climatique est maintenue au débit hygiénique, pour minimiser les déperditions thermiques par l'air. Le débit appliqué dans le calcul est le débit d'air neuf calculé selon la fiche *C_Ven_Débits_d'air_(Cep)* de la méthode Th-BCE.

En période d'été, certaines centrales prévoient l'activation d'une fonction de surventilation d'été, synchronisée sur le fonctionnement du puits climatique. Dans ce cas, le débit appliqué dans le calcul est le débit de surventilation nocturne, tel qu'introduit dans le chapitre *C_Ven_Fonctions de rafraichissement nocturne des systèmes de ventilation et des CTA* de la méthode Th-BCE. On réemploie ainsi les valeurs de débits de surventilation au niveau des composants bouche-conduits ($q_{spec,rep,rafnoc}$ *et* $q_{spec,souf,rafnoc}$), ainsi que les puissances de ventilateurs correspondantes saisies au niveau de la centrale de ventilation ($P_{vent\_rafnoc\_rep}$ *et* $P_{vent\_rafnoc\_souf}$).

A chaque pas de temps, la modélisation du puits climatique est séquentielle :

- On modélise tout d'abord le puits climatique en supposant qu'il est activé. On en déduit la température de l'air en sortie de celui-ci potentielle,
- On applique ensuite les conditions de fonctionnement de la gestion-régulation, dépendant de la température d'air neuf potentielle calculée plus haut.
- Enfin, selon l'état du puits climatique au pas de temps h, on calcule la température d'air préchauffée ou pré rafraichie effective. Celle-ci est ensuite communiquée à la fiche centrale de ventilation (*C_Ven_Ventilation_Mecanique)* pour permettre sa modélisation.

Concernant la représentation de l'échange thermique entre le sol et l'air, le modèle est issu de la norme NF EN 15241. Il est basé sur une approche stationnaire et monodimensionnelle ainsi que sur les hypothèses suivantes :

- Le sol est considéré homogène et non perturbé par les échanges thermiques air/sol ;
- La température de la surface extérieure du conduit enterré est identique à celle du sol ;
- Le conduit enterré est considéré cylindrique, droit, et horizontal ;
- Les échanges latents sont négligés ;

- La température à la surface du sol est considérée égale à la température de l'air ambiant extérieur, avec un décalage horaire (pour tenir compte de l'inertie) ;

- Le sol est considéré comme une source thermique infinie.

Suivant ces hypothèses, le modèle retenu, permet de déterminer la température de l'air en sortie de l'échangeur géothermique.

6.8.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 70** donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul. Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieure	°C			
$q_{m,air\_neuf}^{S}(h)$	Débit massique d'air neuf en entrée du système de ventilation s connecté au puits climatique	kg/s			
$Aut,ch^{S}(j)$	Indicateur de saison de chauffage pour la centrale de ventilation S (oui / non)	Bool			
$Aut,fr^{S}(j)$	Indicateur de saison de refroidissement pour la centrale de ventilation S (oui / non)	Bool			

Sorties du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{air\text{-}out}^{PC}(h)$	Température de l'air sortant du puits climatique	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité			
n_d	Nombre de conduits	-	1	+ ∞	-
L	Longueur du conduit	m	0	+ ∞	-
d_i	Diamètre intérieur du conduit	m	0	+ ∞	-
e_p	Epaisseur du conduit	m	0	+ ∞	-
λ_{tube}	Conductivité thermique du conduit	W/m K	0	+ ∞	-
$type_{gest\_PC}$	Type de gestion du puits climatique : 0. Gestion du bypass en fonction de la température extérieure 1. Gestion du bypass en fonction de la température extérieure et de la température d'air intérieur	-	0	1	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité			
$Type\_sol_{PC}$	Type de sol dans lequel se trouve le puits climatique (0=Sol humide / 1= Sable sec / 2= Sable humide / 3= Argile humide / 4=Argile mouillée)	-	0	4	-

Z	Profondeur d'enfouissement des conduits	m	0	+ ∞	-
Altitude	Altitude du projet 0 - entre 0 et 400m 1 - entre 400m et 800m 2 - supérieur à 800m	-	0	2	-
$\theta_{ext,arrêt\_PC_{hiver}}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle le puits climatique peut être non activé en période de chauffage	°C	0	+ ∞	-
$\theta_{ext,arrêt\_PC_{été}}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle le puits climatique peut être non activé hors période de chauffage	°C	0	+ ∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité		
AH	Facteur de correction de l'amplitude pour la température du sol	-		
VS	Déphasage de la température du sol par rapport à la température extérieure	-		
$\Delta\theta_a$	Amplitude de la variation annuelle de la température d'air extérieur	°C		
θ_{am}	La température extérieure moyenne annuelle	°C		
gm	Coefficient de correction de la température du sol en fonction de la nature du sol	-		
$I_{activation\_PC}(h)$	Indicateur d'activation du puits climatique : 0 : Désactivé 1 : Activé	Ent	0	1
$\theta_{air\text{-}out\text{-}actif}\ (h)$	Température de l'air sortant du puits climatique si il n'est pas bypassé	°C		
$\varepsilon_{sol\text{-}air}(h)$	Efficacité du puits climatique	-		
$\theta_{sol}(h)$	Température du sol	°C		
$h_i(h)$	Coefficient de surface interne entre l'air et la face intérieure du conduit	$W.m^{-1}.K^{-1}$		
$U_g(h)$	Coefficient d'échange thermique global entre l'air et le sol	$W.m^{-1}.K^{-1}$		
$qv_{air}(h)$	Débit volumique d'air circulant dans un conduit	m^3/s		
$v_0(h)$	Vitesse de l'air moyenne dans un conduit	m/s		
JH(h)	Heure annuelle	h		

Constantes					
Nom	**Description**	**Unité**			
ρ_{air}	Masse volumique de l'air	Kg/m^3	-	-	1,22
Cp_{air}	Capacité calorifique massique de l'air	J/(kg.K)			1008

Tableau 70 : Nomenclature du modèle

6.8.3 *DESCRIPTION MATHEMATIQUE*

6.8.3.1 ***Généralités***

Le puits climatique est décrit au niveau de la zone du bâtiment, sous la forme d'un nouveau composant du jeu de données d'entrée Puits_Climatique.

Plusieurs centrales de ventilation peuvent être reliées à un même puits climatique.

La liaison est décrite au niveau des centrales de ventilation, par la définition de Id_Puits_Climatique, index unique du puits climatique.

6.8.3.2 ***Algorithme horaire***

Le présent paragraphe décrit les étapes séquentielles de la prise en compte du puits climatique à chaque pas de temps de simulation. Les étapes sont les suivantes :

- Calcul de la température de sol au niveau du conduit enterré,
- Calcul de la température d'air en sortie du puits climatique,
- Prise en compte de la gestion – régulation du puits climatique,
- Calcul des caractéristiques de l'air en sortie du puits climatique prenant en compte la gestion-régulation.

6.8.3.2.1 Calcul de la température du sol au niveau du conduit enterré

La température du sol dépend de la température moyenne annuelle d'air extérieur (θ_{am}), de l'amplitude annuelle de la température d'air neuf ($\Delta\theta_a$), de la nature du sol et de la profondeur d'enfouissement du conduit (Z).

Etant donné que les variations de températures dans le sol sont moins importantes qu'à la surface, la température de l'air neuf est corrigée par les coefficients AH, VS et gm. Ainsi, la température du sol est modélisée sous la forme d'une courbe sinusoïdale.

Avec :

$$AH = max(1 - 0{,}1993 \cdot Z + 0{,}01381 \cdot Z^2 - 0{,}000335 \cdot Z^3 ; \quad 0) \qquad (772)$$

$$VS = 24 \times (0.1786 + 10.298 \times Z - 1.0156 \times Z^2 + 0.3385 \times Z^3 - 0.0195 \times Z^4) \qquad (773)$$

Où *AH* représente l'amplitude et *VS* la dérive de la courbe.

Finalement, la température du sol à une profondeur *Z*, est déterminée suivant la formule :

$$\theta_{sol}(h) = \mathrm{gm} \cdot \left(\theta_{\mathrm{AM}} - \mathrm{AH} \cdot \Delta\theta_A \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{8760} \times [\mathrm{JH(h)} - \mathrm{VS} + 24 \cdot 25]\right)\right) \quad (774)$$

θ_{AM} est la moyenne des moyennes mensuelles.

$\Delta\theta_A$= (moyenne mensuelle maximale - moyenne mensuelle minimale) / 2.

Les valeurs par défaut pour le coefficient *gm* sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Type_sol$_{PC}$	Conductivité (W/mK)	Masse volumique (kg/m3)	Capacité (J/kgK)	Facteur correctif *gm*
0-Sol humide	1,5	1400	1400	1,00
1-Sable sec	0,7	1500	920	0,90
2-Sable humide	1,88	1500	1200	0,98
3-Argile humide	1,45	1800	1340	1,04
4-Argile mouillée	2,9	1800	1590	1,05

Tableau 71 : Valeurs de gm pour différents types de sol

6.8.3.2.2 Débit d'air neuf total des centrales de ventilation connectées au puits

Le débit massique d'air neuf de l'ensemble des centrales de ventilation connectées au puits climatique est égal à la somme des débits massiques d'air attendus par les centrales de ventilation connectées (indice S) :

$$\mathrm{q}m_{air}(h) = \sum_{s \to PC} q^{s}_{m,air-neuf}(h) \quad (775)$$

6.8.3.2.3 Calcul de la température d'air en sortie du puits dans le cas où il ne serait pas bypassé

Pour chaque système de ventilation mécanique connecté, on calcule la température d'air neuf en sortie du puits climatique en supposant le puits climatique n'est pas bypassé.

On calcule tout d'abord l'efficacité équivalente de l'échange thermique entre le sol et l'air neuf :

$$\varepsilon_{\mathrm{solair}}(\mathrm{h}) = 1 - \exp\left(\frac{-\mathrm{U_g}(\square) \cdot \mathrm{L}}{\frac{\mathrm{qm_{air}}(\square)}{\mathrm{n_d}} \cdot \mathrm{Cp_{air}}}\right) \quad (776)$$

$$U_g(\square) = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{tube}} ln\left(\frac{d_i + 2 \cdot e_p}{d_i}\right) + \frac{1}{h_i(\square).\pi.d_i}} \quad (777)$$

$$h_i(\square) = \left(4{,}13 + 0{,}23 \times \frac{\theta_{ext}(\square)}{100} - 0{,}0077 \times \left(\frac{\theta_{ext}(\square)}{100}\right)^2\right) \times \frac{v_0^{0.75}}{d_i^{0.25}} \quad (778)$$

$$qv_{air}(\square) = \frac{qm_{air}^{\cdot}(\square)}{n_d \cdot \rho_{air}} \times 3600 \quad (779)$$

$$v_0(\square) = \frac{qv_{air}(\square)}{\pi \cdot \left(\frac{d_i}{2}\right)^2} \quad (780)$$

La température de l'air en sortie du puits climatique si il devait fonctionner est calculée comme suit :

$$\theta_{air-out-actif}(h) = \theta_{ext}(h) + \varepsilon_{solair}(h).(\theta_{sol}(h) - \theta_{ext}(h)) \quad (781)$$

6.8.3.3 *Gestion/régulation du puits climatique*

6.8.3.3.1 Principes généraux

Ce modèle, décrivant les modes des gestion-régulation d'un puits climatique, précèdent les calculs énergétiques (transfert de chaleur du sol vers l'air circulant dans le puits, consommation des auxiliaires, etc.), et également celui de la température d'air en sortie du puits climatique.

Dans ce modèle, la gestion de l'activation du puits climatique n'a d'impact que sur les températures de soufflage d'air. La modulation éventuelle des débits est pilotée par le système de ventilation en aval du puits climatique.

La gestion-régulation d'un puits climatique doit permettre de tirer profit au maximum des gains énergétiques apportés par le puits climatique sans altérer le confort de l'occupant. Pour cela, lorsque certaines conditions sont assemblées, l'échangeur géothermique peut être by-passer pour souffler à l'intérieur du (ou des) groupe(s) directement de l'air extérieur.

Hypothèse : le débit et l'humidité de l'air sont supposés identiques en entrée et en sortie du puits climatique.

6.8.3.3.2 Fonctionnement de la gestion/régulation

La gestion/régulation du puits climatique se fait soit en fonction de la température extérieure θext uniquement, ou de la température extérieure et de la température d'air en sortie du capteur enterré.

Pour la partie de régulation en fonction de la température extérieure, deux paramètres de températures de consigne, $\theta_{ext,arrêt\_PC_{hiver}}$ et $\theta_{ext,arrêt\_PC_{été}}$, permettent de décrire la régulation du puits climatique selon la distinction « saison de chauffage » (hiver) ou « hors saison de chauffage » (été).

1er cas : période de chauffage

Le puits climatique est considéré en période de chauffage tant que $Aut\_ch^S(h) = 1$ pour au moins une des centrales de ventilation S raccordées au puits.

Deux conditions doivent être respectées simultanément pour que l'air transite par le puits climatique :

- La température extérieure est inférieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,arrêt\_PC_{hiver}}$ (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- Uniquement si le type de gestion est « Gestion du bypass en fonction de la température extérieure et de la température d'air en sortie du capteur enterré » : la température extérieure est inférieure à la température d'air en sortie du puits climatique, notée $\theta^{PC}_{air-out}(h)$;

Dès lors que ces conditions ne sont pas remplies, le puits climatique est bypassé.

Soit sous forme d'algorithme :

Si $\theta_{ext}(h) < \theta_{ext,arrêt\_PC_{hiver}}\ et\ si\left[\ type_{gest\_PC} = 0\ OU\ \theta_{ext}(h) < \theta_{air-out}^{PC}(h)\right]$ alors,

$$I_{activation\_PC}(h) = 1 \quad (782)$$

Sinon

$$I_{activation\_PC}(h) = 0$$

2ème cas : hors de la période de chauffage

Hors de la période de chauffage, les règles de bypass associée au puits climatique prennent en compte les stratégies de freecooling.

Deux conditions doivent être respectées simultanément pour passer dans le puits climatique :

- La température extérieure est supérieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,arrêt\_PC_{été}}$ (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- Uniquement si le type de gestion est « Gestion du bypass en fonction de la température extérieure et de la température d'air en sortie du capteur enterré » : la température extérieure est supérieure à la température d'air en sortie du puits hydraulique, notée $\theta_{air-out}^{PC}(h)$,

Soit sous forme d'algorithme :

Si $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext,arrêt\_PC_{hiver}}\ et\ si\left[\ type_{gest\_PC} = 0\ OU\ \theta_{ext}(h) > \theta_{air-out}^{PC}(h)\right]$, alors,

$$I_{activation\_PC}(h) = 1 \quad (783)$$

Sinon

$$I_{activation\_PC}(h) = 0$$

6.8.3.3.3 Calcul des données de sortie

<u>Température de l'air en sortie du puits :</u>

Si $I_{activation\_PC}(h) = 0$, alors :

$$\theta_{air-out}^{PC}(h) = \theta_{ext}(h) \quad \text{(puits climatique bypassé)} \quad (784)$$

Sinon,

$$\theta_{air-out}^{PC}(h) = \theta_{air-out-actif}(h)$$

6.9 C_VEN_Puits_hydraulique

6.9.1 INTRODUCTION

La présente fiche vise à modéliser les systèmes de puits hydraulique à eau glycolée, en tant que système de prérefroidissement et/ou préchauffage de l'air neuf de la ventilation.

Un puits hydraulique consiste à utiliser l'énergie thermique du sol en été pour rafraîchir, ou réchauffer en période de chauffage, l'air neuf qui sera insufflé dans le bâtiment. A la différence du puits climatique classique, où l'air neuf circule directement dans un ou des conduits enfouis dans le sol (échangeur air/sol), le puits hydraulique utilise l'eau glycolée comme fluide caloporteur intermédiaire. C'est alors ce dernier qui capte la fraicheur/chaleur du sol en été/hiver (échangeur eau/sol) avant d'aller la restituer à l'air neuf entrant au travers d'une batterie d'échange eau/air.

L'utilisation du puits climatique n'est pas forcément pertinente en permanence. Par conséquent, il est généralement prévu une fonction d'arrêt du circulateur de ce dernier, contrôlée sur la base de ses températures d'air d'entrée (air extérieur) et éventuellement de sortie (air en entrée de la centrale de ventilation).

Dans le cas d'une association avec une centrale double-flux à récupération de chaleur, une fonction de bypass de l'échangeur thermique peut être prévue en fonction de la température en sortie de puits et de la température extérieure (voir fiche *C_Ven_Ventilation_Mecanique_Double_Flux*), de manière à profiter au mieux du rafraichissement.

En période d'hiver, la centrale de ventilation couplée au puits hydraulique est maintenue au débit hygiénique, pour minimiser les déperditions thermiques par l'air. Le débit appliqué dans le calcul est le débit d'air neuf calculé selon la fiche *C_Ven_Débits_d'air_(Cep)* de la méthode Th-BCE.

En période d'été, certaines centrales prévoient l'activation d'une fonction de surventilation d'été, synchronisée sur le fonctionnement du puits hydraulique. Dans ce cas, le débit appliqué dans le calcul est le débit de surventilation nocturne, tel qu'introduit dans le chapitre *C_Ven_Fonctions de rafraichissement nocturne des systèmes de ventilation et des CTA* de la méthode Th-BCE. On réemploie ainsi les valeurs de débits de surventilation au niveau des composants bouche-conduits ($q_{spec,rep,rafnoc}$ *et* $q_{spec,souf,rafnoc}$), ainsi que les puissances de ventilateurs correspondantes saisies au niveau de la centrale de ventilation ($P_{vent\_rafnoc\_rep}$ *et* $P_{vent\_rafnoc\_souf}$).

A chaque pas de temps, la modélisation du puits hydraulique est séquentielle :

- On modélise tout d'abord le puits hydraulique en supposant qu'il est activé. On en déduit la température d'air neuf pré-chauffée ou pré-refroidie potentielle,

- On applique ensuite les conditions de fonctionnement de la gestion-régulation, dépendant de la température d'air neuf potentielle calculée plus haut.

- Enfin, selon l'état du puits hydraulique au pas de temps h, on calcule la température d'air préchauffée ou prérefroidie effective, ainsi que les consommations d'auxiliaires (circulateurs du puits hydraulique, surconsommation des ventilateurs associée à la surventilation).

La modélisation des échanges au niveau du sol reprend la plupart des hypothèses du modèle de puits climatique (C_VEN_Puits climatique). A savoir :

- Le sol est considéré homogène et non perturbé par les échanges thermiques air/sol ;
- La température de la surface extérieure du conduit enterré est identique à celle du sol ;
- Le conduit enterré est considéré cylindrique, droit, et horizontal ;
- Les échanges latents sont négligés ;

- Le sol est considéré comme une source thermique infinie.

6.9.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 72** donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul. Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure au pas de temps h	°C			
$q_{m\text{-}air\text{-}neuf}^{S}(h)$	Débit massique d'air neuf de la centrale de ventilation au pas de temps h	kg/s			
Aut,ch^{S}(j)	Indicateur de saison de chauffage pour la centrale de ventilation S (oui / non)	Bool			
Aut,fr^{S}(j)	Indicateur de saison de refroidissement pour la centrale de ventilation S (oui / non)	Bool			

Sorties du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{eau-out}^{PH}(h)$	Température de l'eau glycolée après passage dans le puits hydraulique (= température d'entrée échangeur)	°C
$Q^{PH}(h)$	Débit d'eau glycolée dans le puits hydraulique	m^3/h
$W_{elec}^{PH,S}(h)$	Quantité d'énergie absorbée par le puits hydraulique et attribuée à la centrale de ventilation S	Wh

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Puits	Q_{max}^{PH}	Débit maximum fourni par la pompe	m^3/s	0	+∞	-
	P_{max}^{PH}	Puissance nominale de la pompe	W	0	+∞	-
	L_{puits}	Longueur du conduit hydraulique (Longueur d'échange sol/eau glycolée)	m	0	+∞	-
	λ_{tube}	Conductivité thermique du conduit hydraulique	W/(m.K)	0	+∞	-
	e_p	Epaisseur du conduit hydraulique	m	0	+∞	-
	d_i	Diamètre intérieur du conduit hydraulique	m	0	+∞	-
	$type_{gest\_PH}$	Type de gestion du puits hydraulique et de sa pompe associée : *2. Gestion de la pompe en*	-	0	1	-

fonction de la température extérieure

3. *Gestion du bypass en fonction de la température extérieure et de la température d'eau en sortie du capteur enterré*

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité			
Puits hydraulique	Z	Profondeur d'enfouissement des conduits du puits hydraulique	m	0	$+\infty$	-
	$\theta_{ext,arrêt\_PH_{hiver}}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle la pompe du puits hydraulique peut être arrêtée en période de chauffage	°C	0	$+\infty$	-
	$\theta_{ext,arrêt\_PH_{été}}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle la pompe du puits hydraulique peut être arrêtée hors période de chauffage	°C	0	$+\infty$	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
AH	Facteur de correction de l'amplitude pour la température du sol	-
VS	Déphasage de la température du sol par rapport à la température extérieure	h
gm	Coefficient de correction de la température du sol en fonction de la nature du sol	-
θ_{am}	Température extérieure moyenne annuelle	
$\Delta\theta_a$	Amplitude de la variation annuelle de la température	
$\theta_{eau-in-PH}(h)$	Température d'eau en entrée du puits hydraulique	°C
$\theta_{eau-out-batt}(h)$	Température de l'eau glycolée en sortie de la batterie eau/air associée au puits hydraulique	°C
$W_{elec}^{PH}(h)$	Quantité d'énergie absorbée par la pompe du puits hydraulique au pas de temps h	Wh
$\theta_{sol}(h)$	Température du sol	°C
$\varepsilon_{soleau}(h)$	Efficacité équivalente de l'échangeur sol/eau constituant le puits hydraulique	-
$qm_{air-neuf}\ (h)$	Débit d'air neuf total circulant dans l'ensemble des batteries eau/air	kg/s

$DC_{airneuf}(h)$ $DC_{eaugly}(h)$	Débits calorifiques d'air et d'eau glycolée de part et d'autre de l'ensemble constitué par les batteries eau/air	W/K
$Rdc(h)$	Ratio des débits calorifiques de l'ensemble constitué par les batteries eau/air	-
$\varepsilon_{batt}(h)$	Efficacité équivalente moyenne des batteries eau/air au pas de temps h	-
U_g(h)	Coefficient d'échange global entre l'eau glycolée et le sol (dépend du type de tube)	W/(m.K)
h_i(h)	Coefficient de surface interne entre l'eau glycolée et la face intérieure du conduit (échange par convection)	W/(m.K)
JH(h)	Heure annuelle	h
$C_{air\_neuf\_total}$(h)	Débit total capacitif de l'air neuf avant distribution aux différents systèmes s desservis par le puits hydraulique	W/K
C_{eau_PH} (h)	Débit capacitif de l'eau glycolée du puits hydraulique	W/K
C_{PH}(h)	Rapport du débit capacitif minimal au débit maximal des deux fluides de l'échangeur air/eau glycolée du puits hydraulique	-

Constantes

Nom	Description	Unité	
$\rho_{eau_{gl}}$	Masse volumique de l'eau glycolée	kg/m^3	1040
λ_{eau_gl}	Conductivité thermique de l'eau glycolée	W/(m.K)	0.496
μ_{eau_gl}	Viscosité dynamique de l'eau glycolée	kg/(m.s)	$1.516.10^{-3}$
Cp_{eau_gl}	Capacité calorifique massique de l'eau glycolée	J/(kg.K)	3751
Cp_{air}	Capacité calorifique massique de l'air	J/(kg.K)	1004

Tableau 72 : Nomenclature du modèle

6.9.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

6.9.3.1 ***Généralités et préprocesseur***

Le puits hydraulique est décrit au niveau de la zone.

Plusieurs centrales de ventilation peuvent être reliées à un même puits hydraulique. La liaison est décrite au niveau des centrales de ventilation, par la définition de Id_Puits_Hydraulique, index unique du puits hydraulique.

6.9.3.2 ***Algorithme horaire***

6.9.3.2.1 Calcul de la température du sol au niveau du capteur enterré

Le calcul de la température du sol dépend de la nature du sol et de la profondeur d'enfouissement du conduit d'eau glycolée (Z). Le calcul est donc identique à celui présent dans la fiche algorithmique existante du puits climatique.

La température du sol dépend de la température moyenne annuelle d'air extérieur (θ_{am}), de l'amplitude annuelle de la température d'air neuf ($\Delta\theta_a$), de la nature du sol et de la profondeur d'enfouissement du conduit (Z).

Etant donné que les variations de températures dans le sol sont moins importantes qu'à la surface, la température de l'air neuf est corrigée par les coefficients AH, VS et gm. Ainsi, la température du sol est modélisée sous la forme d'une courbe sinusoïdale.

Avec :

$$AH = max(1 - 0{,}1993 \cdot Z + 0{,}01381 \cdot Z^2 - 0{,}000335 \cdot Z^3 ; \quad 0) \tag{785}$$

$$VS = 24 \times (0.1786 + 10.298 \times Z - 1.0156 \times Z^2 + 0.3385 \times Z^3 - 0.0195 \times Z^4) \tag{786}$$

Où *AH* représente l'amplitude et *VS* la dérive de la courbe.

Finalement, la température du sol à une profondeur *Z*, est déterminée suivant la formule :

$$\theta_{sol}(\square) = \mathrm{gm} \cdot \left(\theta_{\mathrm{AM}} - \mathrm{AH} \cdot \Delta\theta_A \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{8760} \times [\mathrm{JH(h)} - \mathrm{VS} + 24 \cdot 25]\right)\right) \tag{787}$$

θ_{AM} est la moyenne des moyennes mensuelles.

$\Delta\theta_A$= (La moyenne mensuelle maximale- la moyenne mensuelle minimale)/2.

Les valeurs par défaut pour le coefficient *gm* sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Type_sol$_{PC}$	**Conductivité (W/mK)**	**Masse volumique (kg/m3)**	**Capacité (J/kgK)**	**Facteur correctif *gm***
0-Sol humide	1,5	1400	1400	1,00
1-Sable sec	0,7	1500	920	0,90
2-Sable humide	1,88	1500	1200	0,98
3-Argile humide	1,45	1800	1340	1,04
4-Argile mouillée	2,9	1800	1590	1,05

Tableau 73 : Valeurs de gm pour différents types de sol

6.9.3.2.2 Calcul de la température d'eau glycolée en sortie du puits hydraulique

La température de l'eau glycolée attendue en entrée et en sortie du puits climatique est calculée **à tous les pas de temps** que le puits fonctionne ou non.

La première étape consiste à calculer l'efficacité moyenne équivalente de l'ensemble des batteries eau/air connectées au puits $\varepsilon_{batt}(h)$. Pour cela, on calcule le débit d'air neuf total circulant dans l'ensemble des batteries, $qm_{air,neuf}(h)$.

$qm_{air,neuf}(h)$ est le débit d'air d'hygiène total de l'ensemble des systèmes de ventilation « s » reliés au puits hydraulique :

$$qm_{air-neuf}(h) = \sum_{S} qm_{air-neuf}{}^{S}(h) \quad (788)$$

Le ratio des débits calorifiques de l'échange de chaleur, Rdc(h), est calculé comme suit :

$$DC_{airneuf}(h) = qm_{air-neuf}(h).Cp_{air} \quad (789)$$

$$DC_{eaugly}(h) = \frac{Q_{MAX}^{PH}.\rho_{eau_{gl}}.Cp_{eau\_gl}}{3600} \quad (790)$$

$$Rdc(h) = \frac{MIN\left(DC_{airneuf}(h); DC_{eaugly}(h)\right)}{MAX\left(DC_{airneuf}(h); DC_{eaugly}(h)\right)} \quad (791)$$

Enfin, l'efficacité moyenne équivalente des batteries est :

$$\varepsilon_{batt}(h) = \frac{\sum_S\left(qm_{air-neuf}{}^{S}(h).\varepsilon_{batt}{}^{S}(h)\right)}{qm_{air-neuf}\quad(h)}.Rdc(h) \quad (792)$$

Avec $\varepsilon_{batt}{}^{S}$ les efficacités des batteries eau/air de chacune des centrales de ventilation d'indice S, en fonction de la saison au pas de temps h :

En saison de chauffage ($Aut\_ch(h) = 1$): $\varepsilon_{batt}{}^{S}(h) = \varepsilon_{batt,ch}{}^{S}$ (793)

Hors saison de chauffage ($Aut_{ch(h)} < 1$): : $\varepsilon_{batt}{}^{S}(h) = \varepsilon_{batt,fr}{}^{S}$

On utilise les relations suivantes basées sur l'équilibre thermique de la boucle d'eau glycolée :

$$\theta_{eau-in-PH}(h) = \frac{\left(\varepsilon_{soleau}(h) - \varepsilon_{batt}(h).\varepsilon_{soleau}(h)\right).\theta_g(h) + \varepsilon_{batt}(h).\theta_{ext}(h)}{\varepsilon_{soleau}(h) + \varepsilon_{batt}(h) - \varepsilon_{batt}(h).\varepsilon_{soleau}(h)} \quad (794)$$

$$\theta_{eau-out-PH}(h) = \theta_{eau-in-PH}(h) + \varepsilon_{soleau}(h).(\theta_g(h) - \theta_{eau-in-PH}(h)) \quad (795)$$

Avec $\varepsilon_{soleau}(h)$ l'efficacité équivalente du capteur enterré :

$$\varepsilon_{soleau}(h) = 1 - \exp\left[\frac{-3600\,.U_g.L_{puits}}{Q_{MAX}^{PH}.\rho_{eau_{gl}}.Cp_{eau\_gl}}\right] \quad (796)$$

$$U_g(h) = \frac{1}{\frac{1}{2.\pi.\lambda_{tube}}\ln\left(\frac{d_i + 2.e_p}{d_i}\right) + \frac{1}{\pi.d_i.h_i(h)}} \quad (797)$$

La circulation de l'eau glycolée dans le puits hydraulique est forcée et généralement turbulente ($Re > 2300$) . On considère donc le régime turbulent établi dans le tube. On évalue alors h_i avec la formule de Colburn pour un fluide en refroidissement ou en échauffement selon la saison de fonctionnement (l'eau glycolée se refroidit ou se réchauffe en passant dans le sol après s'être échauffée ou refroidie au contact de l'échangeur air/eau):

$$h_i(h) = 0.023 \times \frac{\lambda_{eau\_gl}}{d_i} \times \left[\frac{\rho_{eau_{gl}} \cdot \frac{4.Q_{MAX}^{PH}}{3600.\pi.d_i}}{\mu_{eau\_gl}}\right]^{0.8} \cdot \left[\frac{\mu_{eau\_gl}.Cp_{eau\_gl}}{\lambda_{eau\_gl}}\right]^{0.30} \quad (798)$$

Les caractéristiques de l'eau glycolée sont prises pour un mélange à 25% de glycol.

6.9.3.2.3 Gestion/Régulation du puits hydraulique

La gestion/régulation du puits hydraulique se fait soit en fonction de la température extérieure θext uniquement, ou de la température extérieure et de la température d'eau en sortie du capteurs enterrée (en entrée de la batterie).

Pour la partie de régulation en fonction de la température extérieure, deux paramètres de températures de consigne, $\theta_{ext,arrêt\_PH_{hiver}}$ et $\theta_{ext,arrêt\_PH_{été}}$, permettent de décrire la régulation du puits hydraulique selon la distinction « saison de chauffage » (hiver) ou « hors saison de chauffage » (été).

Voici ci-dessous le fonctionnement de la régulation basée sur le contrôle de la température extérieure :

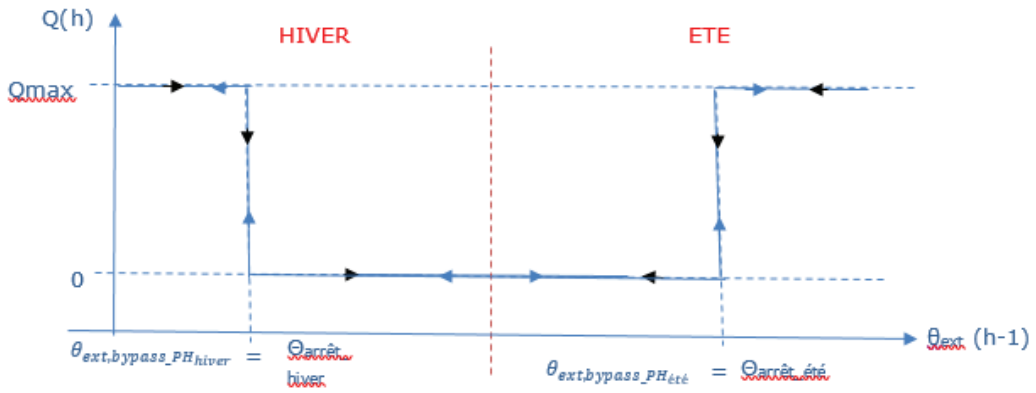


Figure 2 - Débit d'eau glycolée dans le puits hydraulique en fonction de la température moyenne du bâtiment au pas de temps précédent dans le cas d'une pompe à débit constant.

1er cas : période de chauffage

Le puits climatique est considéré en période de chauffage tant que $Aut\_ch^S(h) = 1$ pour au moins une des centrales de ventilation S raccordées au puits.

Durant la période de chauffage, la pompe du puits hydraulique est arrêtée s'il n'y a pas d'intérêt à passer à l'intérieur ou s'il y a un risque de surchauffe.

Deux conditions doivent être respectées simultanément pour passer dans le puits hydraulique

- La température extérieure est inférieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,arrêt\_PH_{hiver}}$ (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- Uniquement si le type de gestion est « Gestion du circulateur en fonction de la température extérieure et de la température d'eau en sortie du capteur enterré » : la température extérieure est inférieure à la température d'eau en sortie du puits hydraulique, notée $\theta_{eau-out-PH}(h)$;

Soit sous forme d'algorithme :

Si
$\theta_{ext}(h) < \theta_{ext,arrêt\_PH_{hiver}}$ $et\ si\left[\ type_{gest_PH} = 0\ OU\ \theta_{ext}(h) < \theta_{eau-out-PH}(h)\right]$alors,

$$Q^{PH}(h) = Q^{PH}_{MAX} \quad (799)$$

Sinon

$$Q^{PH}(h) = 0$$

Ceci permettant de ne pas faire de consommation d'auxiliaire de pompe si la température d'eau arrivant à l'échangeur n'était pas en mesure d'assurer le préchauffage de l'air.

2ème cas : hors de la période de chauffage

Hors de la période de chauffage ($Aut\_ch(h) < 1$), les règles de l'arrêt de la pompe associée au puits hydraulique prennent en compte les stratégies de free-cooling.

Deux conditions doivent être respectées simultanément pour passer dans le puits hydraulique :

- La température extérieure est supérieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,arrêt\_PH_{été}}$ (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- Uniquement si le type de gestion est « Gestion du circulateur en fonction de la température extérieure et de la température d'eau en sortie du capteur enterré » : la température extérieure est supérieure à la température d'eau en sortie du puits hydraulique, notée $\theta_{eau-out-PH}(h)$,

Soit sous forme d'algorithme :

Si $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext,arrêt\_PH_{hiver}}$ $et\ si\left[\ type_{gest\_PH} = 0\ OU\ \theta_{ext}(h) > \theta_{eau-out-PH}(h)\right]$,
alors,

$$Q^{PH}(h) = Q^{PH}_{MAX} \quad (800)$$

Sinon

$$Q^{PH}(h) = 0$$

Ceci permettant de ne pas faire de consommation d'auxiliaire de pompe si la température d'eau arrivant à l'échangeur n'était pas en mesure d'assurer le refroidissement de l'air.

6.9.3.2.4 Calcul de la consommation du puits hydraulique

A chaque pas de temps h, la quantité d'énergie électrique consommée par la pompe du puits hydraulique est calculée comme suit :

Si $\mathbf{Q^{PH}(h)>0}$:

$$W^{PH}_{elec}(h) = P^{PH}_{max} \quad (801)$$

A chaque pas de temps, la puissance absorbée par le puits hydraulique est répartie dans chaque centrale de ventilation S au prorata des débits d'air neuf du pas de temps en cours :

$$W^{PH,S}_{elec}(h) = W^{PH}_{elec}(h).\frac{qm_{air-neuf}{}^{S}(h)}{\sum_S qm_{air-neuf}{}^{S}(h)} \quad (802)$$

La consommation de circulateur du puits hydraulique est ainsi comptabilisée dans la consommation **des auxiliaires de ventilation.**

6.10 C_VEN_gestion_régulation_Puits_climatique

6.10.1 INTRODUCTION

Les puits climatiques sont intégrés dans la méthode réglementaire Th-BCE. Dans le contexte de bâtiments à la fois confortables et basse consommation, il est nécessaire que le puits climatique soit géré au mieux afin de profiter ou non (selon les conditions extérieures et intérieures) de l'échangeur géothermique.

Le composant ci-dessous s'inspire des algorithmes du by-pass d'une ventilation double-flux et exprime les équations de gestion-régulation du by-pass du puits climatique.

6.10.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 74 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_e(h)$	Température extérieure au pas de temps *h*	°C
$\theta_{i,fin}^{PC}(h)$	Température de l'air intérieur vue par le puits climatique à la fin du pas de temps précédent	°C
$I_{saison}^{PC}(j)$	Indicateur de saison propre au puits climatique	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$type_{gest\_PC}$	Type de gestion du puits climatique et de son by-pass 0. Pas de by-pass 1. Gestion du by-pass en fonction des températures intérieures et extérieures	-	*0*	*1*	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$\theta_{int,by\text{-}pass\_PC}^{hiver}$	Température intérieure de consigne au dessus de laquelle l'échangeur du puits climatique peut être by-passé en période de chauffage	°C	-∞	+∞	-
$\theta_{ext,by\text{-}pass\_PC}^{hiver}$	Température extérieure de consigne au dessus de laquelle l'échangeur du puits climatique peut être by-passé en période de chauffage	°C	-∞	+∞	-
$\theta_{int,by\text{-}pass\_PC}^{été}$	Température intérieure de consigne au dessus de laquelle l'échangeur du puits climatique peut être by-passé hors période de chauffage	°C	-∞	+∞	-
$\theta_{ext,by\text{-}pass\_PC}^{été}$	Température extérieure de consigne au dessus de laquelle l'échangeur du puits climatique peut être by-passé hors période de chauffage	°C	-∞	+∞	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\delta_{bypass}^{PC}(h)$	Indicateur de fonctionnement du by-pass du puits climatique	-

Variables internes			
Nom	**Description**	**Unité**	

Constantes			
Nom	**Description**	**Unité**	**Conv.**

Tableau 74 : Nomenclature des différentes variables du modèle

6.10.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

6.10.3.1 *Les principes de la gestion-régulation du puits climatique*

Ce modèle, décrivant les modes des gestion-régulation d'un puits climatique, précèdent les calculs énergétiques (transfert de chaleur du sol vers l'air circulant dans le puits, consommation des auxiliaires, etc.)

Dans ce modèle, la gestion du by-pass n'a d'impact que sur les températures de soufflage d'air. La modulation éventuelle des débits est pilotée par le système de ventilation en aval du puits climatique.

La gestion-régulation d'un puits climatique doit permettre de tirer profit au maximum des gains énergétiques apportés par le puits climatique sans altérer le confort de l'occupant. Pour cela, lorsque certaines conditions sont assemblées, l'échangeur géothermique peut être by-passer pour souffler à l'intérieur du (ou des) groupe(s) directement de l'air extérieur.

Hypothèse : le débit et l'humidité de l'air sont supposés identiques en entrée et en sortie du puits climatique.

6.10.3.2 *Calcul de l'indicateur de by-pass du puits climatique*

Ce calcul est horaire.

6.10.3.2.1 Si il n'y a pas de by-pass ($type_{gest\_PC}$=0)

$$\delta_{by-pass}^{PC} = 0 \qquad (803)$$

6.10.3.2.2 Si le by-pass est en gestion manuelle ($type_{gest\_PC}$=1)

Concernant les règles de by-pass, on distingue la période de chauffage du reste de l'année.

1er cas : période de chauffage

Durant la période de chauffage (I_{saison}^{PC}=chauffage), le by-pass est activé pour éviter les surchauffes. Trois conditions doivent être respectées simultanément :

- la température extérieure est inférieure à la température intérieure vue par le puits climatique, $\theta_{i,fin}^{g}$, (possibilité de refroidir) ;
- la température extérieure est supérieure à une température de consigne, notée $T_{ext,By\text{-}pass}^{hiver}$ $\theta_{ext,by-pass\_PC}^{hiver}$, (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- la température intérieure est supérieure à une température de consigne notée $T_{int,By\text{-}pass}^{hiver}$;

Autrement dit, si $\theta_{ext} < \theta_{i,fin}^{PC}$ et $\theta_{ext} > \theta_{ext,by-pass\_PC}^{hiver}$ et si $\theta_{i,fin}^{PC} > \theta_{int,by-pass\_PC}^{hiver}$, alors

$$\delta_{by-pass}^{PC} = 1 \qquad (804)$$

2ème cas : hors de la période de chauffage

Hors de la période de chauffage (I_{saison}^{PC}≠chauffage), les règles de by-pass du puits climatique prennent en compte les stratégies de free-cooling.

Trois conditions doivent être respectées simultanément :

- la température extérieure est inférieure à la température intérieure, $\theta_{i,fin}^{g}$, (possibilité de refroidir) ;

- la température extérieure est supérieure à une température de consigne, notée $\theta_{ext,by-pass\_PC}^{été}$ $T_{ext,By\text{-}pass}^{été}$ (contrôle de la température de l'air extérieur) ;
- la température intérieure est supérieure à une température de consigne notée $\theta_{int,by-pass\_PC}^{été}$ $T_{int,By\text{-}pass}^{été}$;

Autrement dit, si $\theta_{ext} < \theta_{i,fin}^{PC}$ et $\theta_{ext} > \theta_{ext,by-pass\_PC}^{été}$ et si $\theta_{i,fin}^{PC} > \theta_{int,by-pass\_PC}^{été}$, alors

$$\delta_{by-pass}^{PC} = 1 \quad (805)$$

On rappelle que **par défaut,** le by-pass est désactivé avec par conséquent la valeur du paramètre $\delta_{by-pass}^{PC} = 0$

6.11 **S1_BAT_assemblage_puits_climatique**

6.11.1 INTRODUCTION

Deux fiches algorithmes liées aux puits climatiques sont assemblées :

- la fiche gestion-régulation du puits climatique qui décrit les modes de gestion du puits climatique ainsi que les périodes de fonctionnement du by-pass ;

- la fiche puits climatique qui, à partir d'un débit massique d'air et de la température extérieure, calcule ce même couple de données en sortie, après passage dans l'échangeur géothermique.

6.11.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 75 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées au puits climatique.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Climat	$\theta_e(h)$	Température de l'air extérieure (entrant dans le puits)	°C
Climat	$\omega_{ext}(h)$	Humidité de l'air extérieur	kg/kg as
Syst. ventilation	$\theta_{i,fin}^{s}(h)$	Température d'air à la fin du pas de temps précédent du système de ventilation *s* connecté au puits climatique	°C
Syst. ventilation	$i_{saison}^{s}(h)$	Indicateur de saison lié au système de ventilation *s* connecté au puits climatique	-
Syst. ventilation	$q^{s}_{m,air\_neuf}(h)$	Débit massique d'air neuf en entrée du système de ventilation *s* connecté au puits climatique	kg/s

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche puits climatique *Voir fiche gestion-régulation du puits climatique*				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Mode	Mode de calcul *Voir fiche puits climatique* *Voir fiche gestion-régulation du puits climatique*	-	0	5	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$I_{climatique}$	Booléen indiquant le raccordement éventuel à un puits climatique	Bool
$\theta_{air\text{-}out}^{PC}(h)$	Température de l'air sortant du puits climatique	°C
$m_{air\text{-}out}^{PC}(h)$	Débit d'air en sortie du puits climatique	kg/s
$\omega_{air\text{-}out}^{PC}(h)$	Humidité de l'air en sortie du puits climatique	kg/kg as

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\delta_{bypass}^{PC}(h)$	Indicateur de fonctionnement du by-pass du puits climatique	-
$\theta_{i,fin}^{PC}(h)$	Température d'air à la fin du pas de temps précédent vu par le puits climatique	°C
$m_{air}(h)$	Débit d'air massique entrant dans le puits climatique	kg/s

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	(Voir fiches de l'assemblage)		

Tableau 75 : Nomenclature du modèle

6.11.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Deux fiches composent l'assemblage :

- gestion-régulation du puits climatique ;

- puits climatique ;

Hypothèses :

Pour les calculs en mode Bbio (Th-B), il n'y a pas de puits climatique.

Pour le calcul des consommations (Th-C) ou du confort d'été en mode « consommations » (Th-DC), un puits climatique peut être connecté au(x) système(s) de ventilation suivant(s) :

- ventilation SF Insufflation (C_VEN_Mécanique_F)

- ventilation DF ou DAC (C_VEN_Mécanique_Double_Flux)

Un PC peut desservir plusieurs systèmes de ventilation.

L'air entrant dans le puits climatique est de l'air extérieur.

6.11.3.1 ***Prétraitement des données***

6.11.3.2 ***Débit massique en entrée du puits climatique***

Le débit massique d'air entrant dans le puits climatique est égal à la somme des débits massiques d'air attendus par les systèmes de ventilation.

$$m_{air}^{PC} = \sum_{s \to PC} q_{m,air-neuf}^{s} \quad (806)$$

6.11.3.2.1 La température intérieure de gestion-régulation du puits climatique

La température d'air utilisée pour la gestion-régulation du puits climatique est la moyenne pondérée des températures d'air vue par les systèmes de ventilation.

$$\theta_{i,fin}^{PC} = \frac{\sum_{s \to PC} \left(\theta_{i,fin}^{s} \times q_{m,air-neuf}^{s} \right)}{\sum_{s \to PC} \left(q_{m,air-neuf}^{s} \right)} \quad (807)$$

6.11.3.2.2 La saison au niveau du puits climatique

La saison au niveau du PC (utile pour sa gestion-régulation) est une compilation des saisons de chaque système de ventilation.

Dès qu'un système de ventilation est en mode chauffage, le puits climatique passe en mode chauffage.

S'il existe au moins un système de ventilation s tel que $i_{saison}^{s} = chauffage$, alors $i_{saison}^{PC} = chauffage$ (808)

6.11.3.2.3 Indicateur de présence d'un puits climatique

L'indicateur suivant permet d'informer les systèmes de ventilation mécanique de la présence d'un puits climatique, pour le calcul des consommations.

Si $Mode = 0$

$$I_{climatique} = 0$$

Si $Mode = 1$

$$I_{climatique} = 1$$

(809)

6.11.3.2.4 Le puits climatique dans le calcul du confort d'été

Le puits climatique n'intervient pas dans le calcul de confort d'été en mode « besoins » (Th-DB) :

Si $Mode = 2$

$$I_{climatique} = 0$$

Si $Mode = 3$

$$I_{climatique} = 1$$

(810)

6.11.3.3 *Ordre des calculs*

Pour un puits climatique et pour chaque pas de temps d'un calcul de Cep :

1) Première étape : gestion-régulation du by-pass du puits climatique

Le puits climatique peut être by passé lorsque l'échangeur géothermique n'est pas intéressant d'un point de vue énergétique. La gestion-régulation du by-pass est basée sur le même principe que celui du by-pass d'une ventilation double flux à savoir :

- une distinction entre la période de chauffage et le reste de l'année ;
- pour chacune des deux périodes ainsi définies, deux températures seuils (une pour la température intérieure et une pour la température extérieure) conditionnent l'utilisation du by-pass.

Un indicateur de by-passage est envoyé aux algorithmes du puits climatiques.

2) Deuxième étape : le puits climatique

Le puits climatique permet de modifier la température d'air en entrée du système de ventilation en utilisant un échangeur géothermique. A partir des caractéristiques physiques du puits climatique, de la nature du sol,… nous pouvons en déduire la température en sortie du puits climatique. Cette température sera identique pour tous les systèmes de ventilation reliés au puits climatique.

6.11.3.4 *L'assemblage puits climatique*

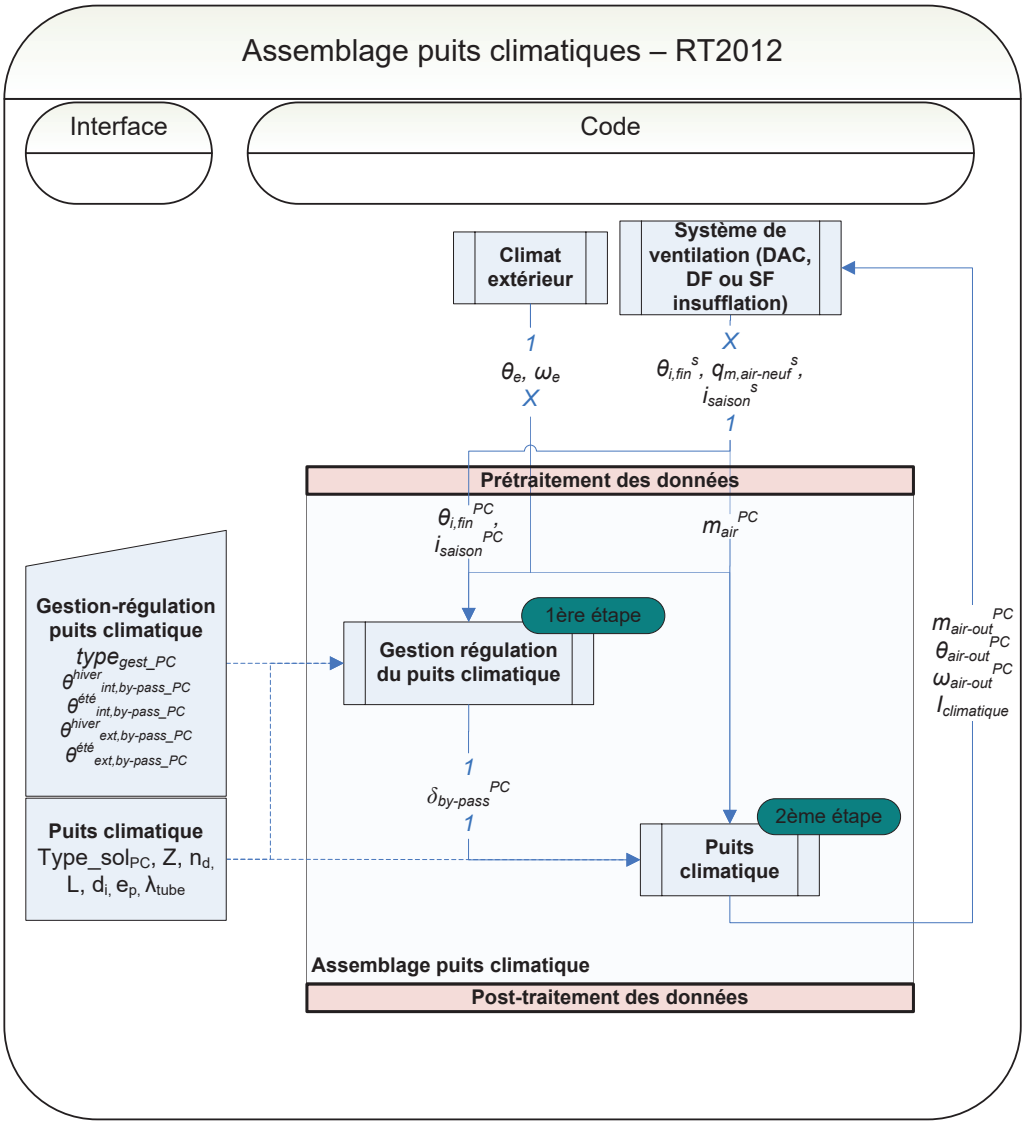


Figure 79 : Schéma d'assemblage du modèle de puits climatique

6.11.3.5 *Post-traitement des données*

A la suite des algorithmes de l'assemblage puits climatique, le système de traitement d'air reçoit une température d'air, une humidité et un débit massique. A cela s'ajoute un indicateur $I_{climatique}$ informant le système de ventilation de la présence d'un puits climatique en amont de l'installation de ventilation.

La température de sortie du puits climatique est utilisée par tous les systèmes de ventilation reliés au puits climatique.

6.12 C_VEN_Fonctions de rafraichissement par surventilation mécanique des systèmes de ventilation

6.12.1 INTRODUCTION

Les fonctions de rafraichissement par surventilation mécanique ne concernent que les calculs de consommations Cep ou la méthode Th-D.

Le rafraichissement par surventilation mécanique consiste en l'activation de la ventilation afin de faire circuler de l'air neuf frais dans les locaux. Il vise à abaisser la température du et des locaux concernées de plusieurs degrés sous la température de consigne des systèmes de refroidissement, pour que ceux-ci s'activent plus tard. Il peut aussi être employé dans les locaux non-climatisés pour abaisser la température opérative.

Lorsque le rafraichissement par surventilation mécanique est qualifié de « nocturne », il peut être activé en périodes soirée et nuit, sinon (cas de freecooling), il peut être activé sans condition de jour ou nuit.

Le rafraichissement par surventilation mécanique consiste à augmenter les débits (passage en pointe), à activer le by-pass d'échangeur, et/ou à fermer le volet de recyclage d'air intérieur.

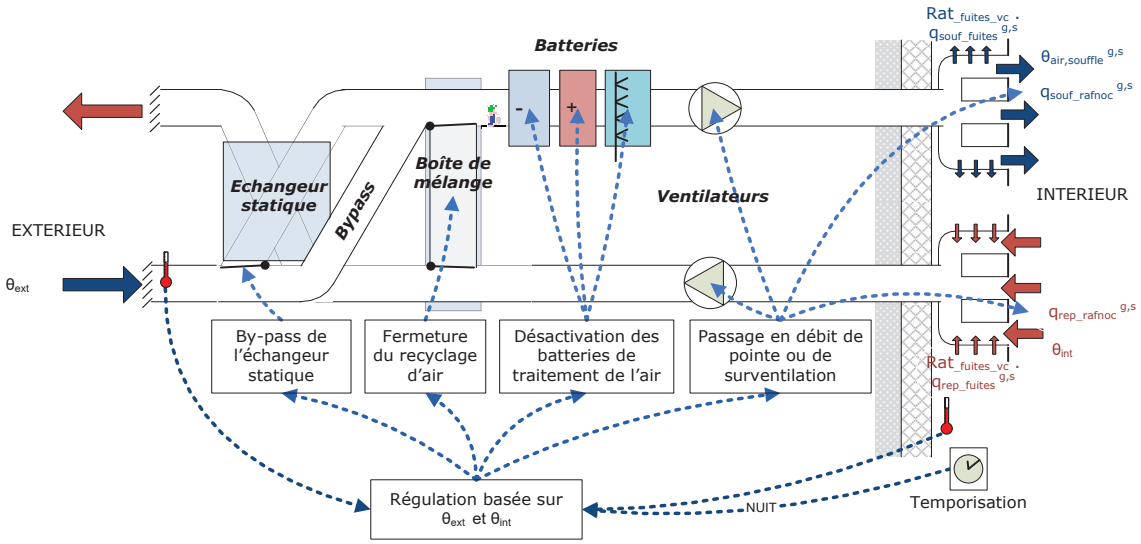


Figure 80: représentation schématique de la fonction de rafraichissement par surventilation mécanique pour une CTA

Le rafraichissement par surventilation mécanique est piloté au niveau du caisson de ventilation ou de la centrale de traitement d'air. En général, il est régulé d'une des trois façons suivantes :

- **Activation/désactivation manuelle uniquement**.,
- **Activation temporisée**, à heure fixe. Les dimensionnements des débits et de la durée d'activation devront alors être sécuritaires pour éviter de sur-rafraîchir les locaux.
- **Activation temporisée et régulée** sur la base d'une mesure de température extérieure (ou d'air neuf) et/ou d'une mesure de température intérieure.

6.12.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 76 donne la nomenclature.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, et *j* le jour de simulation correspondant.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{an}(h)$	Température d'air neuf au pas de temps h	°C
$\theta_{op,fin}^{gr}(h-1)$	Température opérative intérieure du groupe *gr* à la fin du pas de temps h-1.	°C
$h_{leg}(h)$	Heure légale au début pas de temps h (entre 0 et 23 h).	h
$Aut_{fr\_pro}^{gr}(j)$	Autorisation propre de refroidissement du groupe *gr* au jour j : *0 : hors saison de refroidissement,* *1 : en saison de refroidissement*	Ent
$T_{souf,2}(h)$	Température d'air après le ventilateur de soufflage, calculée selon le système de ventilation mécanique.	°C

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$i_{hebergement}$	Indicateur d'usage hébergement : *0 : hors usage hébergement,* *1 : usage hébergement ou habitation.*	Ent			
$q_{spec,rep,rafnoc}^{g,s}$	Débit volumique spécifique repris lorsque le dispositif de ventilation ou la CTA intègre une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique	m^3/h	0	$+\infty$	-
$q_{spec,souf,rafnoc}^{g,s}$	Débit volumique spécifique soufflé lorsque le dispositif de ventilation ou la CTA intègre une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique	m^3/h	0	$+\infty$	-
$is_{souf}^{g,s}$	Type de bouche : *0 : bouche d'extraction* *1 : bouche d'insufflation*	entier	0	1	-

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
is_{rafnoc}	Présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique associée au composant bouche-conduit s : *0 : Pas de fonction de rafraichissement nocturne ni de freecooling* *1 : Présence d'une fonction de rafraichissement nocturne en période d'été seulement* *2 : Présence d'une fonction de rafraichissement*	Ent	0	4	

rafraichissement en inoccupation

	nocturne toute l'année. *3 : Présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) en période d'été seulement* *4 : Présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) toute l'année*				
$h_{leg,deb\_rafnoc[été]}$ $h_{leg,deb\ \_rafnoc[mis]}$	Heure légale (début de pas de temps) de début de période de rafraichissement nocturne.	h	0	23	
$h_{leg,fin\_rafnoc[été]}$ $h_{leg,fin\_rafnoc[mis]}$	Heure légale (début de pas de temps) de fin de fin de période de rafraichissement nocturne.	h	0	23	
$\theta_{sd\_dec\_rafnoc[été]}$ $\theta_{sd\_dec\_rafnoc[mis]}$	Température intérieure (référentiel sonde) de déclenchement du rafraichissement par surventilation mécanique associée au composant bouche-conduit s.	°C	-20	50	
$\theta_{sd\_arr\_rafnoc[été]}$ $\theta_{sd\_arr\_rafnoc[mis]}$	Température intérieure (référentiel sonde) d'arrêt du rafraichissement par surventilation mécanique.	°C	-20	50	
$\Delta\theta_{lim\ \_rafnoc[été]}$ $\Delta\theta_{lim\ \_rafnoc[mis]}$	Ecart limite entre les températures mesurées par les sondes intérieure(s) et extérieure(s) pour autoriser le rafraichissement par surventilation mécanique.	°C	-20	50	
$\theta_{ext\ \_rafnoc[été]}$ $\theta_{ext\ \_rafnoc[mis]}$	Température extérieure limite pour autoriser le rafraichissement par surventilation mécanique.	°C	-20	50	
$P_{vent\_rafnoc\_rep}$	Puissance électrique du ventilateur de reprise en rafraichissement par surventilation mécanique.	W	0	+∞	-
$P_{vent\_rafnoc\_souf}$	Puissance électrique du ventilateur de soufflage en rafraichissement par surventilation mécanique.	W	0	+∞	

Variables internes

Nom	Description	Unité			
${q_{rep,rafnoc}}^{g,s}$	Débit volumique spécifique repris intégrant les conventions de signe	m^3/h	-∞	0	-
${q_{souf,rafnoc}}^{g,s}$	Débit volumique spécifique soufflé intégrant les conventions de signe	m^3/h	0	+∞	-
$\theta_{op,act}\ (h)$	Température opérative d'activation du rafraichissement par surventilation mécanique (maximum des températures opératives ${\theta_{op,fin}}^{gr}(h-1)$)	°C			
$\theta_{op,desact}\ (h)$	Température opérative de désactivation du rafraichissement par surventilation mécanique (minimum des températures de groupe ${\theta_{op,fin}}^{gr}(h-1)$)	°C			
$Aut_{tempo}(h)$	Autorisation de rafraichissement par surventilation mécanique en fonction de la période de l'heure légale.	Ent			
$Aut_{rafinocc}(h)$	Autorisation de rafraichissement par surventilation mécanique en fonction de la température de sonde extérieure : *0 : non,* *1 : oui.*	Ent			
$Aut_{fr\_pro}\ (j)$	Autorisation saisonnière d'activer le rafraichissement par surventilation mécanique. *0 :Non* *1 :Oui*	Ent			

$i_{rafinocc\_comm}(h)$	Statut du rafraichissement par surventilation mécanique fonction de la température de sonde intérieure : *0 : pas de besoin en rafraichissement,* *1 : besoin en rafraichissement.*	Ent
$i_{rafinocc\_comm}(h-1)$	Statut effectif du rafraichissement par surventilation mécanique fonction de la température de sonde intérieure au pas de temps h-1 : *0 : désactivé,* *1 : activé.*	Ent
$P_{vent\_rep}(h)$	Puissance du ventilateur de reprise du système de ventilation au pas de temps h.	W
$P_{vent\_souf}(h)$	Puissance du ventilateur de soufflage du système de ventilation au pas de temps h.	W

Sorties

Nom	Description	Unité
$i_{rafinocc\_activé}(h)$	Statut effectif du rafraichissement par surventilation mécanique : *0 : désactivé,* *1 : activé.*	Ent
~~$i_{freecool\_activé}(h)$~~	~~Statut effectif du freecooling :~~ ~~*0 : désactivé,*~~ ~~*1 : activé.*~~	~~Ent~~
$q_{spec,rep}^{g,s}(h)$	Débit volumique spécifique repris en volume chauffé pour la bouche-conduit g,s.	m^3/h
$q_{spec,sou}^{g,s}(h)$	Débit volumique spécifique soufflé en volume chauffé pour la bouche-conduit g,s.	m^3/h
$q_{spec,rep,cond}^{g,s}(h)$	Débit repris en tenant compte des fuites aérauliques totales dans les conduits	m^3/h
$q_{spec,sou,cond}^{g,s}(h)$	Débit soufflés en tenant compte des infiltrations aérauliques totales dans les conduits	m^3/h
$\delta_{bypass}(h)$	Statut du bypass pour l'échangeur du composant de ventilation mécanique : *0 : désactivé* *1 : activé*	Ent
$T_{air\_souffle}(h)$	Température d'air soufflé en sortie du système de ventilation ou de la CTA.	°C
$W_{ventc}(h)$	Consommation de ventilateurs du système de ventilation ou de la CTA.	Wh
$P_{prefroid}(h)$	Puissance nécessaire au prérefroidissement	W
$P_{prechaud}(h)$	Puissance nécessaire au préchauffage (zone)	W
$P_{chaudHR}(h)$	Puissance nécessaire à l'humidification à vapeur	W
$P_{chaud,ag}(h)$	Puissance nécessaire à la sécurité antigel	W

Tableau 76 : Nomenclature du modèle

6.12.3 *DESCRIPTION MATHEMATIQUE*

Le rafraichissement par surventilation mécanique est une fonction d'un système de ventilation. A ce titre, les paramètres de gestion/régulation sont définis au niveau du composant ventilation mécanique.

Les algorithmes ci-dessous ne sont pris en compte qui si une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique est définie au niveau du composant ventilation mécanique *s*, c'est-à-dire lorsque $is_{rafinocc}^{s}$ =

- *« 1 : présence d'une fonction de rafraichissement nocturne en période d'été »*
- *« 2 : présence d'une fonction de rafraichissement nocturne toute l'année »*
- *« 3 : présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) en période d'été seulement »*
- *« 4 : présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) toute l'année ».*

La prise en compte du rafraichissement par surventilation mécanique est la même quel que soit l'usage, bien qu'évidemment, la régulation et les dimensionnements soient à adapter.

6.12.3.1 ***Hypothèses initiales***

On fait les hypothèses suivantes :

- Les débits de rafraichissement par surventilation mécanique sont définis au niveau des bouches-conduits associées au composant ventilation mécanique ou CTA.
  - Si $is_{souf}^{g,s}$ = 0 (bouche-conduits de reprise) :

$$q_{rep,rafnoc}^{g,s} = -q_{spec,rep,rafnoc}^{s}$$
$$q_{souf,rafnoc}^{g,s} = 0 \ (m^3/h) \quad (811)$$

  - Si $is_{souf}^{g,s}$ = 1 (bouche-conduits de soufflage) :

$$q_{rep,rafnoc}^{g,s} = 0 \ (m^3/h)$$
$$q_{souf,rafnoc}^{g,s} = q_{spec,souf,rafnoc}^{s} \quad (812)$$

- Les puissances de ventilateurs associées au rafraichissement par surventilation mécanique sont définies au niveau de la ventilation mécanique.
- Les paramètres d'activation du rafraichissement par surventilation mécanique sont définis au niveau du composant ventilation mécanique ou la CTA. Ils sont donc communs à tous les groupes connectés à ce composant. On distingue les consignes en saison de refroidissement des consignes hors saison de refroidissement.
- Si les débits de rafraichissement par surventilation mécanique s'avèrent plus élevés que les débits d'occupation, la surface d'enveloppe de conduits de ventilation pour les calculs des fuites et des échanges thermiques est recalculée en début de simulation :

$$A_{cond,rep}^{g,s} = MAX(|q_{rep,max}^{g,s}|; |q_{rep,rafnoc}^{g,s}|) \times Rat_{debcond}) \quad (813)$$
$$A_{cond,souf}^{g,s} = MAX(|q_{souf,max}^{g,s}|; |q_{souf,rafnoc}^{g,s}|) \times Rat_{debcond}) \quad (814)$$

Où $q_{souf,max}^{g,s}$, $q_{rep,max}^{g,s}$ et $Rat_{debcond}$ sont des paramètres définis dans la fiche « C_Ven_Bouches_Conduits ».

6.12.3.2 *Régulation saisonnière*

Deux types de régulation saisonnière sont prévus :

Cas $is_{rafinocc}^{s}$ = « 1 : présence d'une fonction de rafraichissement nocturne en période d'été seulement » ou $is_{rafinocc}^{s}$ = « 3 : présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) en période d'été seulement »

L'autorisation saisonnière d'activer le rafraichissement par surventilation mécanique est alors déterminée jour par jour :

Si $MIN_{gr<>s}(Aut_{fr\_pro}^{gr}(j))$ = « 1: en saison de refroidissement »
$Aut_{fr\_pro}(j)$ = « 1 : Oui » (815)
Sinon,
$Aut_{fr\_pro}(j)$ = « 0 : Non »

Les consignes de températures d'heure légales sont les consignes d'indice « été » (pour saison de refroidissement). (816)

Cas $is_{rafinocc}^{s}$ = « 2 : présence d'une fonction de rafraichissement nocturne toute l'année » ou $is_{rafinocc}^{s}$ = « 4 : présence d'une fonction de rafraichissement par surventilation mécanique (freecooling) toute l'année »

L'autorisation saisonnière d'activer le rafraichissement par surventilation mécanique est à « *1 : Oui* » toute l'année, mais on doit chaque jour déterminer quel jeu de données de consigne utiliser :

$Aut_{fr\_pro}(j)$ = « 1 : Oui » (817)

Si $MIN_{gr<>s}(Aut_{fr\_pro}^{gr}(j))$ = « 1: en saison de refroidissement », les consignes de températures d'heure légales sont les consignes d'indice « été » (pour saison de refroidissement*).* (818)

Sinon, ($MIN_{gr<>s}(Aut_{fr\_pro}^{gr}(j))$ = « 0 : hors saison de refroidissement »), les consignes de températures et d'heure légales sont les consignes d'indice « mis » (pour mi-saison).

6.12.3.3 *Régulation heure par heure*

L'activation du rafraichissement par surventilation mécanique dépend de la variable $i_{rafnoc\_active}(h)$, calculée au niveau de la centrale de ventilation ou la CTA d'indice *s*.

$$i_{rafnoc\_active}(\square) = Aut_{fr\_pro}(j) \times Aut_{tempo}(\square) \times Aut_{rafnoc}(\square) \times i_{rafnoc\_comm}(\square) \quad (819)$$

L'activation du rafraichissement nocturne dépend de l'heure (activation uniquement en période de nuit au sens de la temporisation), contrairement au mode freecooling qui peut être activé aussi bien de jour que de nuit.

Si ***$is_{rafinocc}^{s}$ = 1 ou si*** Si ***$is_{rafinocc}^{s}$ = 2, alors on procède comme suit :***

On vérifie dans un premier temps qu'on se situe bien en période nuit au sens de la temporisation, dans laquelle le rafraichissement nocturne est autorisé. Cette période est définie par l'utilisateur. L'heure de début et l'heure de fin, formulées en heure légale au début du pas de temps, doivent être comprises entre 21 et 23h ou 0 et 8h. L'heure de fin doit être ultérieure à l'heure de début.

Test de cohérence en début de simulation :

Si $h_{leg\_deb,rafnoc} > 8h$ *ET* $h_{leg\_deb,rafnoc} < 21h$: (820)
Message d'erreur :« L'heure légale de début de période de rafraichissement nocturne doit être comprise entre 21h et 8h ».

Si $h_{leg\_fin,rafnoc} > 8h$ *ET* $h_{leg\_fin,rafnoc} < 21h$ *:*
Message d'erreur : « L'heure légale de fin de période de rafraichissement nocturne doit être comprise entre 21h et 8h ».
Si $h_{leg\_fin,rafnoc} \geq 21h$ *ET* $h_{leg\_deb,rafnoc} \geq 21h$ *ET* $h_{leg\_fin,rafnoc} < h_{leg\_deb,rafnoc}$
OU
Si $h_{leg\_fin,rafnoc} \leq 8h$ *ET* $h_{leg\_deb,rafnoc} \leq 8h$ *ET* $h_{leg\_fin,rafnoc} < h_{leg\_deb,rafnoc}$
OU
Si $h_{leg\_fin,rafnoc} \geq 21h$ *ET* $h_{leg\_deb,rafnoc} \leq 8h$ *:*
Message d'erreur : « Sur la période nuit (21h à 8h), l'heure légale de fin de période de rafraichissement nocturne doit être ultérieure à l'heure légale de début. »

L'algorithme heure par heure est le suivant :

Autorisation en fonction de l'heure (temporisation) :

Cas $h_{leg\_fin,rafnoc} \geq h_{leg\_deb,rafnoc}$ *:*

si $h_{leg}(h) \geq h_{leg\_deb,rafnoc}$ *ET* $h_{leg}(h) \leq h_{leg\_fin,rafnoc}$ *,*

alors,

$Aut_{tempo}(h)$= « *1: Oui* »

Sinon,

$Aut_{tempo}(h)$= « *0: Non* »

(821)

Cas $h_{leg\_fin,rafnoc} < h_{leg\_deb,rafnoc}$ *:*

si $h_{leg}(h) \geq h_{leg\_deb,rafnoc}$ *OU* $h_{leg}(h) \leq h_{leg\_fin,rafnoc}$ *,*

alors,

$Aut_{tempo}(h)$= « *1: Oui* »

Sinon,

$Aut_{tempo}(h)$= « *0: Non* »

(822)

Sinon, Si $\boldsymbol{is_{rafinocc}^{s} = 3}$ ***ou si*** Si $\boldsymbol{is_{rafinocc}^{s} = 4}$***, alors***

$Aut_{tempo}(h)$= « *1: Oui* »

(823)

Note: les paramètres hleg_deb,rafnoc et hleg_fin,rafnoc sont inutilisés dans ce cas.

On analyse ensuite le besoin et le potentiel de rafraichissement par surventilation mécanique :

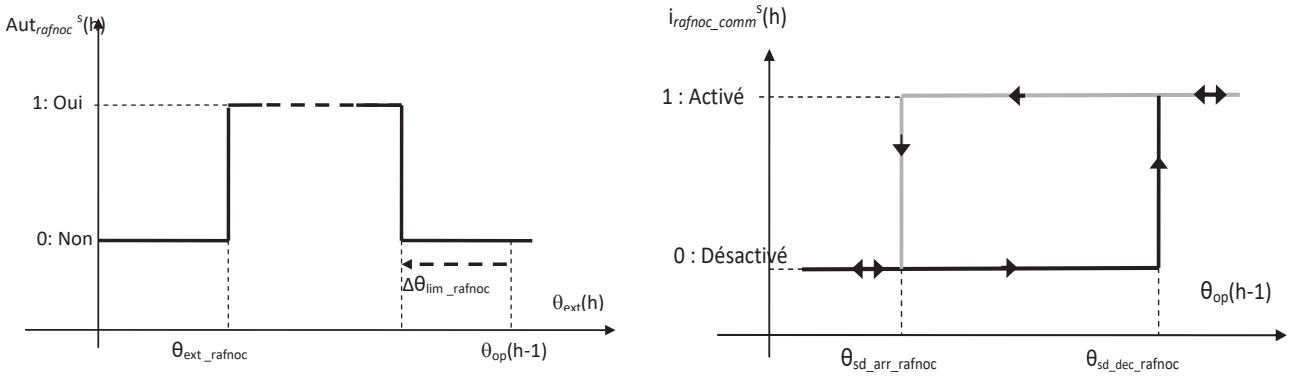


Figure 81: logique de régulation du rafraichissement par surventilation mécanique en inoccupation

Les consignes de températures θ_{ext_rafnoc}, $\Delta\theta_{lim\_rafnoc}$, $\theta_{sd\_dec\_rafnoc}$ et $\theta_{sd\_arr\_rafnoc}$ sont des paramètres

intrinsèques définis pas l'utilisateur, d'une part en saison de refroidissement, d'autre part hors saison de refroidissement.

Notes :

- le cas d'une absence de mesure de température intérieure peut être modélisé en abaissant les consignes de températures $\theta_{sd\_dec\_rafnoc}$ et $\theta_{sd\_arr\_rafnoc}$ à -20°C.
- Le cas d'une absence de sécurité sur la température extérieure peut être modélisé en abaissant les consignes θ_{ext_rafnoc} et $\Delta\theta_{lim\_rafnoc}$ à -20°C.
- L'absence des deux revient à un cas en temporisation seule : la température intérieure peut alors dériver fortement et engendrer des surconsommations.

Soient :

$$\theta_{op,act}(h) = \underset{gr \Leftrightarrow s}{MAX}\left(\theta_{op,fin}^{gr}(h-1)\right) \quad (824)$$

$$\theta_{op,desact}(h) = \underset{gr \Leftrightarrow s}{MIN}\left(\theta_{op,fin}^{gr}(h-1)\right) \quad (825)$$

L'algorithme de gestion/régulation est le suivant :

Autorisation en fonction de la température extérieure :

Si $\theta_{an}(h) \geq \theta_{ext\_rafnoc}$ *et* $\theta_{an}(h) \leq \theta_{op,act}(h) - \Delta\theta_{lim\_rafnoc}$, *alors,*

$Aut_{rafnoc}(h)$ = « *1: Oui* » (826)

Sinon,

$Aut_{rafnoc}(h)$ = « *0: Non* »

Activation en fonction de la température intérieure du groupe :

Si $[\theta_{op,desact}(h) \geq \theta_{sd\_arr\_rafnoc}]$ *ET* $[\theta_{op,act}(h) \geq \theta_{sd\_dec\_rafnoc}$ *OU* $i_{rafnoc\_comm}(h-1)$ = « *1: besoin en rafr.*»], *alors,* (827)

$i_{rafnoc\_comm}(h)$ = « *1: besoin en rafraichissement* »,

Sinon,

$i_{rafnoc\_comm}(h)$ = « *0: pas de besoin en rafraichissement* »,

6.12.3.4 *Débits appliqués heure par heure*

Les débits appliqués en rafraichissement par surventilation mécanique ne prennent pas en compte de coefficient de dépassement C_{dep} ou de coefficient de réduction de débit C_{rdbnr}. On intègre cependant les fuites aérauliques :

Si $i_{rafnoc\_active}(h)$ = « *1 : activé* », alors,

$$\begin{cases} q_{spec\_repris}^{g,s}(h) = q_{rep,rafnoc}^{g,s} + Ratfuitevc \times q_{rep,fuites}^{g,s} \\ q_{spec\_souffle}^{g,s}(h) = q_{soufflé,rafnoc}^{g,s} + Ratfuitevc \times q_{soufflé,fuites}^{g,s} \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_{repris,cond}^{g,s}(h) = q_{rep,rafnoc}^{g,s} + q_{rep,fuites}^{g,s} \\ q_{souffle,cond}^{g,s}(h) = q_{soufflé,rafnoc}^{g,s} + q_{soufflé,fuites}^{g,s} \end{cases} \quad (828)$$

Sinon, ($i_{rafnoc\_active}(h)$ = « *0 : désactivé*»),

Le calcul se déroule selon les modalités de la fiche C_Ven_Bouches_Conduits.

Les débits de fuites $q_{rep,fuites}^{g,s}$, $q_{souf,fuites}^{g,s}$ et le ratio de fuites en volume chauffé $Rat_{fuitevc}$ sont déterminés dans la fiche *C_Ven_Bouches_Conduits.*

Note : en CTA DAV ou CTA DAC à Température Variable, les débits repris et soufflés ne sont pas recalculés pour prendre en compte un éventuel besoin de froid. On considère par hypothèse que le débit de rafraichissement par surventilation mécanique et les conditions de fonctionnement définies par l'utilisateur ne conduisent dans aucun cas à un besoin de refroidissement après calcul des températures intérieures

6.12.3.5 *Activation du bypass de l'échangeur*

Dans le cas d'une centrale de ventilation intégrant un échangeur thermique on considère que le by-pass est activé pour permettre le rafraichissement par surventilation mécanique :

Si $i_{rafnoc\_active}(h)$ = « *1 : activé* », alors,
δ_{bypass} (h) = « 1 : activé »
Sinon, (829)
Le calcul se déroule selon les modalités de la fiche C_Ven_CTA et VMC double-flux

6.12.3.6 *Taux d'air neuf de la boîte de mélange*

Le taux d'air neuf est systématiquement fixé à 100% dans le cas du rafraichissement par surventilation mécanique. Pour les CTA en cas de recyclage cela impose :

Si $i_{rafnoc\_}$*activé(h)* = « *1 : activé* », alors,
$q^{S}_{m,Air\_neuf}(h) = q^{s}{}_{m,souffle\_cond}(h)$
Sinon, (830)
Le calcul se déroule selon les modalités de la fiche C_Ven_CTA et VMC double-flux.

6.12.3.7 *Désactivation du prétraitement/traitement de l'air soufflé*

Dans le cas d'une CTA, l'ensemble des fonctions d'antigel, de préchauffage, de prérefroidissement et d'humidification sont désactivées :

Si $i_{rafnoc\_activé}(h)$ = « *1 : activé* », alors,

$$T_{Air\_soufflé}(h) = T_{souf,prefroid}(h) = T_{souf,hum}(h) = T_{souf,prechaud}(h) = T_{souf2}(h)$$

$$P_{électrique,HRvapeur}(h) = P_{prefroid}(h) = P_{prechaud}(h) = P_{chaud,ag}(h) = 0 \text{ (W)} \quad (831)$$

Si*non,*
Le calcul se déroule selon les modalités de la fiche C_Ven_CTA et VMC double-flux.

6.12.3.8 *Consommations électriques des ventilateurs*

Pour les systèmes de ventilation simple flux, double flux et les CTA DAC :

Si $i_{rafnoc\_activé}(h)$ = « *1 : activé* », alors,

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rafnoc\_rep}$$

$$P_{vent\_souf}(h) = P_{vent\_rafnoc\_souf} \quad (832)$$

Si*non, (*$i_{rafnoc\_activé}$*(h) = « 0 : désactivé »),*
Le calcul se déroule selon les modalitésde la fiche C_Ven_CTA et VMC double-flux.

La consommation électrique des ventilateurs est la somme de ces deux puissances intégrées sur une heure :

$$W_{vent}(h) = P_{vent\_rep}(h) + P_{vent\_souf}(h) \text{ (x 1h)} \quad (833)$$

7. ECLAIRAGE

7.1 C_ECL_éclairage

7.1.1 INTRODUCTION

Pour calculer la consommation d'énergie due à l'éclairage artificiel, la méthode réglementaire pour tous les modes B, C et D, calcule la consommation liée, d'une part, à la durée d'utilisation de l'éclairage artificiel, d'autre part, aux équipements de gestion de l'éclairage artificiel le cas échéant. tient compte de :

- Deux puissances électriques installées sont prises en compte :
    - La puissance électrique surfacique correspondant au régime de fonctionnement normal des lampes, sans baisse de puissance due à la gradation, dans le local considéré.

  La puissance électrique surfacique correspondant au fonctionnement des appareillages et périphériques de gestion lorsque les lampes sont éteintes.

  La méthode utilise une puissance installée de référence dans le résidentiel.

  La durée d'utilisation de l'éclairage artificiel dépend de la gestion, de l'occupation et de l'exigence de confort visuel des occupants. Pour calculer cette durée d'utilisation la méthode utilise :

- une matrice de coefficients C1 dont les valeurs dépendent des modes de gestion de l'éclairage et du taux d'occupation effectif des locaux.
- Le coefficient C2 module le recours à l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel intérieur.

  La méthode tient compte de deux modes de gestion marche-arrêt par détection du franchissement d'un seuil d'éclairement :
    - Mode marche et arrêt automatiques : l'allumage et l'extinction sont effectués automatiquement lorsque le seuil d'éclairement est franchi.
    - Mode arrêt automatique : seule l'extinction est effectuée automatiquement lorsque le seuil d'éclairement est dépassé.

Afin de prendre en compte différents systèmes de gestion et l'accès à l'éclairage naturel de parties spécifiques d'un groupe, la notion de local est introduite :

- un local a une puissance d'éclairage artificiel spécifique,
- un local dispose d'un seul mode de mise en marche et d'extinction de l'éclairage, ce qui se traduit par une valeur de C1 spécifique à ce local,
- tout ou partie de la surface d'un local peut avoir ou non accès à l'éclairement naturel,
- Si seulement une partie du local a accès à l'éclairement naturel, il peut y avoir une gestion de l'éclairage en fonction de la lumière naturelle uniquement dans cette partie du local (fractionnement ou « zonage » de l'installation). On définit donc deux coefficients C2 par local.

- Le système de gestion fractionné gère indépendamment la partie ayant accès à l'éclairement naturel et la partie n'y ayant pas accès. Lorsque le système n'est pas fractionné, c'est la partie sans accès à l'éclairement naturel qui impose le fonctionnement de l'éclairage artificiel pour l'ensemble du local.

Les flux lumineux de chaque baie ont été cumulés par type de baie, de 0 à 2, et par type de flux, de 1 à 3. Les contributions lumineuses sont donc regroupés par type de baie et non par local. Leur affectation à un local du groupe se fait au prorata de la surface du local ayant accès à l'éclairement naturel. Cependant, il convient de distinguer les types de baie 0 et 1 qui ne peuvent être présentes que dans des grands volumes du type 1 que l'on rencontre uniquement dans d'autres locaux. De la sorte, l'éclairement affecté à des grands volumes ne peut être attribué à d'autres locaux. Ainsi il existe une opacité entre locaux de grand volume et les autres locaux.

Précision sur le calcul de l'éclairement naturel intérieur.

A chaque pas de temps, la méthode réglementaire évalue le niveau d'éclairement intérieur à partir du rayonnement incident sur la baie et son efficacité lumineuse, les caractéristiques de la baies et les caractéristiques géométriques du local. Une fois l'éclairement naturel estimé, on en déduit selon une régression empirique le taux d'utilisation de l'éclairage artificiel. Celui dépend également du système de commande de l'éclairage artificiel et de l'usage du local.

Il convient de rappeler que la méthode est construite selon une approche zonale qui découpe le bâtiment en zones soumises à des sollicitations thermiques homogènes et aux moyens de compenser les besoins thermiques en chauffage et en refroidissement similaires. Or le confort visuel, qui sert de fond théorique à la relation de causalité entre niveau d'éclairement et usage de l'éclairage artificiel, répond à une segmentation spatiale différente et plus fine au niveau du local.

La méthode nécessite de distinguer la contribution des flux lumineux à l'éclairement naturel du local selon la nature du rayonnement (direct, diffus, réfléchi) et selon la position ou la part de la baie éclairée ou encore selon la capacité de la baie verticale à éclairer de façon uniforme ou non. Une fois les flux calculés pour chaque baie ils sont cumulés pour chaque groupe en fonction des types de baies puis ils sont transmis au module éclairage pour déterminer l'éclairement naturel intérieur de chaque local du groupe, de manière à déterminer l'autonomie en éclairage artificiel et la consommation associée.

Il ressort que pour chaque groupe, l'une ou l'autre des matrices de flux lumineux suivante sera disponible :

Caractéristiques des locaux du groupe	**Type de baie selon inclinaison et répartition des baies**	**Flt1**	**Flt2**	**Flt3**	**dimension de la matrice**
Le groupe possède uniquement des locaux de volumes normaux	Type 1 quelle que soit l'inclinaison et la répartition i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-1$_i$	Σ_i Flt2-1$_i$	Σ_i Flt3-1$_i$	$1*3$
Le groupe possède uniquement des locaux de grands volumes dont les éclairants zénitaux ne permettent pas un éclairage uniforme de chacun des locaux	Type 2 : baies horizontales et verticales i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-2$_i$	Σ_i Flt2-2$_i$	Σ_i Flt3-2$_i$	$1*3$
Le groupe possède uniquement des locaux de grands volumes dont les éclairants zénitaux permettent un éclairage uniforme de chacun des locaux	Type 0 baies horizontales réparties de façon à éclairer uniformément le local. i nombre de baies du groupe de type 0	Σ_i Flt1-0$_i$	Σ_i Flt2-0$_i$	Σ_i Flt3-0$_i$	$1*3$ si uniquement des baies horizontales sinon $2*3$
	Type 2 baies verticales i nombre de baies du groupe de type 2	Σ_i Flt1-2$_i$	Σ_i Flt2-2$_i$	Σ_i Flt3-2$_i$	

Le groupe possède des locaux de volumes normaux et un ou plusieurs locaux de grands volumes dont les éclairants zénitaux ne permettent pas un éclairage uniforme de chacun des locaux de grands volumes	Pour les volumes normaux Type 1 quelle que soit l'inclinaison et la répartition i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-1$_i$	Σ_i Flt2-1$_i$	Σ_i Flt3-1$_i$	2∗3
	Pour les grands volumes Type 2 : baies horizontales et verticales i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-2$_i$	Σ_i Flt2-2$_i$	Σ_i Flt3-2$_i$	
Le groupe possède des locaux de volumes normaux et un ou plusieurs locaux de grands volumes dont les éclairants zénitaux permettent un éclairage uniforme de chacun des locaux de grands volumes	Pour les volumes normaux Type 1 quelle que soit l'inclinaison et la répartition i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-1$_i$	Σ_i Flt2-1$_i$	Σ_i Flt3-1$_i$	3∗3 ou 2∗3 si les grands volumes ne sont pas équipées de baies verticales
	Type 0 baies horizontales réparties de façon à éclairer uniformément le local. i nombre de baies du groupe de type 0	Σ_i Flt1-0$_i$	Σ_i Flt2-0$_i$	Σ_i Flt3-0$_i$	
	Pour les grands volumes Type 2 : baies verticales i nombre de baies du groupe de type 1	Σ_i Flt1-2$_i$	Σ_i Flt2-2$_i$	Σ_i Flt3-2$_i$	

Tableau 77 : matrices des flux lumineux disponibles pour chaque groupe

Une fois l'éclairement naturel intérieur sur le plan de travail disponible par type de locaux dans un groupe est connu il doit être réparti dans chaque local. La répartition se fait au prorata des surfaces pour la partie des locaux ayant accès à l'éclairement naturel intérieur.

Les limites :

Le découpage : La méthode développée n'autorise pas la présence dans un même groupe de locaux de grands volumes éclairés uniformément par des éclairants de toiture et des locaux de grands volumes non éclairés de façon uniforme par des éclairants de toiture.

Les baies horizontales : dès lors qu'un local de grand volume est éclairé de façon uniforme par les baies horizontales, toutes les baies horizontales sont supposées contribuer à cette éclairage naturel uniforme. La coexistance de baies horizontales contribuant à l'éclairement uniforme du grand volume avec des baies horizontales ne contribuant pas à l'éclairement uniforme du grand volume n'est pas autorisée.

Homogénéité de l'éclairement : dans les locaux de grand volume avec éclairants de toiture répartis de façon uniforme, l'éclairement naturel intérieur est suposé homogène dans tout le local. Ainsi la contribution des baies verticales, le cas échéant, contribue de la même manière à l'éclairement de l'ensemble du local. Il n'est pas considéré une contribution plus importante à proximité de la baie verticale. En conséquence l'absence de système d'éclairage fractionné, pour ces locaux, tenant compte d'une répartion différente de la lumière naturelle, du fait de la présence de baies verticales, n'est pas pénalisé.

7.1.1.1 *Types de bâtiments visés*

Cette méthode est applicable à tous les bâtiments.

Pour les Bâtiments à usage d'habitation- maison individuelle et accolée et Bâtiment à usage d'habitation- logement collectif, le système d'éclairage est conventionnel pour le calcul des coefficients Bbio et C.

Pour les chambres des usages d'enseignement secondaire (partie nuit), Bâtiment à usage d'habitation – établissement sanitaire avec hébergement et hôtel partie nuit, le système d'éclairage est conventionnel pour le calcul des coefficients Bbio et C.

7.1.1.2 *Quel éclairage prendre en compte ?*

L'éclairage pris en compte correspond à celui nécessaire aux activités des occupants à l'intérieur des locaux chauffés.

Les éclairages suivants ne doivent pas être pris en compte lors de l'application de la méthode :

- l'éclairage extérieur,
- l'éclairage de sécurité,
- l'éclairage destiné à mettre en valeur des objets ou des marchandises. Cette dernière catégorie couvre :
    - les objets d'art tels que les peintures, les sculptures, les objets d'art avec un éclairage incorporé (lustres…) mais pas les luminaires décoratifs,
    - l'éclairage localisé destiné à mettre en valeur les tables de restaurant.
- l'éclairage spécialisé destiné à la réalisation de process particuliers. Il n'est pas possible de fournir une liste exhaustive de ces éclairages particuliers mais ils couvrent notamment : l'éclairage de scène dans les locaux utilisés pour le spectacle et les loisirs sous réserve que cet éclairage vienne en complément d'un éclairage général et qu'il soit commandé par un système de commande dédié accessible au seul personnel autorisé.

La méthode de prise en compte de l'éclairage des parkings est décrite au chapitre 10.4.

7.1.1.3 *Types de calcul*

Eclairage pour le calcul du coefficient Bbio :

Voir §7.1.3.1

Eclairage pour le calcul du coefficient Cep :

Voir §7.1.3.2

Valeurs conventionnelles

- ratio de la surface totale des parois du groupe à la surface utile du groupe $R^{gr}_{A,AT}$, fixé à 4,5,

- coefficients de réflexion lumineuse des parois du groupe,

- facteur de forme entre une paroi et le plan utile,

- ratio de récupération sous forme convective des apports d'éclairage, fixé à 0,5,

- ratio de récupération sous forme radiative des apports d'éclairage, fixé à 0,5,

- part non récupérée des apports d'éclairage, fixée à 0.

pour la zone commerce, magasin, zones commerciales : Efficacité lumineuse conventionnelle pour le calcul de la puissance d'éclairage au-dessous de laquelle un éclairage mobilier est nécessaire pour les locaux aire de vente, fixé à 80 l/W,

- pour la zone commerce, magasin, zones commerciales : Puissance électrique conventionnelle de l'éclairage pour le calcul de la puissance d'éclairage au-dessous de laquelle un éclairage mobilier est nécessaire pour les locaux aire de vente fixée à 20 W/m²,

- pour la zone commerce, magasin, zones commerciales : Puissance de l'éclairage 'mobilier' du projet pour les locaux petits magasins fixée à 50 W/m²

7.1.1.4 *Les types de locaux*

Le paramètre type_bat en entrée du Tableau 79 est renseigné automatiquement d'après l'usage défini au niveau de la zone.

7.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 78 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de consommation d'éclairage.

Entrées du composant		
Nom	**Description**	**Unité**
Flt_1(0)	Flux lumineux entrant sous forme directe par les baies de type 0	lm
Flt_2(0)	Flux lumineux entrant sous forme hémisphérique par les baies de type 0	lm
Flt_3(0)	Flux lumineux entrant sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond par les baies de type 0	lm
Flt_1(1)	Flux lumineux entrant sous forme directe par les baies de type 1	lm
Flt_2(1)	Flux lumineux entrant sous forme hémisphérique par les baies de type 1	lm
Flt_3(1)	Flux lumineux entrant sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond par les baies de type 1	lm
Flt_1(2)	Flux lumineux entrant sous forme directe par les baies de type 2	lm
Flt_2(2)	Flux lumineux entrant sous forme hémisphérique par les baies de type 2	lm
Flt_3(2)	Flux lumineux entrant sous forme semi hémisphérique orienté vers le plafond par les baies de type 2	lm
I_{Ecl}	Indice de fonctionnement de l'éclairage de la zone dans laquelle se situe le groupe 0 = éclairage artificiel non autorisé 1 = éclairage artificiel autorisé *Cet indice correspond aux plages d'occupation données par les scénarios conventionnels.*	-
Jour_astro	Indicateur du jour au sens astronomique : 1 : le soleil est au-dessus de l'horizon, période de jour, 0 : le soleil est sous l'horizon, période de nuit	-
$Nbh_{\_occ\_Einat\_sup}(t-1)$	Nombre d'heures pendant lesquelles Ei_{nat} est supérieur à un seuil en occupation de jour au pas précédent	h
$Nbh_{\_occ\_Einat\_inf}(t-1)$	Nombre d'heures pendant lesquelles Ei_{nat} est inférieur à un seuil en occupation de jour au pas précédent	h
$Nbh_{\_occ\_nuit(t-1)}$	Nombre d'heures en occupation de nuit	h
Type-baie-l	C'est le type de baie, baie associée à un volume normal (VN) type 2, à un grand volume et horizontale (GV) type 0 et à un grand volume horizontal qui contribue à l'éclairement uniforme du grand volume (GVU) type 1	
Type_volume	C'est le type de volume grand volume ou autre	
Paramètres d'intégration du composant		

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$type\_local_{,l}$	Type de local (voir Tableau 79)	-	-	-	-
A_{gr}	Surface utile du groupe	m²	-	-	-
$Ratio_{local,l}$	Part de la surface du local l dans celle du groupe	-	0	1	-
$Ratio_{écl\_nat,l}$	part du local ayant accès à la lumière naturelle (cette valeur est égale à 1 pour les locaux avec baies de type 1)	-	0	1	-
$Fr\_{Grad\_ecl,l}$	Fractionnement du type de gestion en fonction de l'éclairement naturel 0= gestion non fractionnée de l'éclairage, indice spécifique à l'habitation 1 = gestion non fractionnée de l'éclairage dans le local 2 = gestion fractionnée de l'éclairage dans le local	-	0	2	
$Seuil_{\_auto\_lumi}$	Seuil d'autonomie lumineuse du groupe	lux	0	-	300

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$P_{ecl\_tot,l}$	Puissance surfacique totale d'éclairage installée à poste fixe dans le local l (lampes allumées, appareillages d'alimentation et périphériques de gestion) *Correspond aux périodes d'occupation*	W/m²	0	-	-
$P_{ecl\_aux,l}$	Puissance surfacique totale des appareillages et périphériques de gestion de l'éclairage artificiel dans le local l. *Correspond aux périodes d'inoccupation*	W/m²	0	-	-
$Eff_{\_immo\_projet}$	zones commerce, magasin, zones commerciales : Efficacité lumineuse des lampes de l'éclairage immobilier du projet pour les locaux aire de vente et les petits magasins : halogène fluocompacte fluorescente halogénures métalliques sodium haute pression	lm/W	0	-	20 70 80 90 110
$Gest\_ecl_{,l}$	Mode de commande de l'éclairage artificiel du local l : 0 = pas de commande manuelle ni de détection d'occupation (éclairage permanent pendant les plages d'occupation) 1 = Interrupteur manuel marche/arrêt 2 = Interrupteur manuel marche/arrêt et programmation horaire (horloge) 3 = Marche et arrêt automatiques par détection de présence et d'absence 4 = Marche manuelle et arrêt automatique par détection d'absence	-	0	4	

$Grad\_ecl_{,l}$	Mode de gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel dans le local l : 0 = gestion impossible avec la lumière du jour 1 = gestion manuelle de la lumière du jour par interrupteur marche-arrêt 2 = gradation automatique assurant un éclairement constant sur la zone de tâche 3 = allumage et extinction automatiques par détection de franchissement d'un seuil de éclairement. 4 = extinction automatique par détection de franchissement d'un seuil de éclairement.	-	0	4	
$Eff_{\_ecl\_immo\_projet}$	zone de bureaux : densité de puissance de l'éclairage immobilier du projet pour les locaux de bureaux	W/m²/100 lux	0	-	-
$Eff_{\_ecl\_mob}$	Zone de bureaux : densité de puissance de l'éclairage mobilier du projet pour les locaux de bureaux	W/m²/100 lux			1
Ei_{proj}	Zone bureaux : Eclairement requis du projet pour les locaux de bureaux	Lux	0	-	-

Sorties

Nom	Description	Unité
C_{ECL_local}	Consommation d'énergie finale pour l'éclairage d'un local sur une heure	Wh
C_{ECL_GR}	Consommation d'énergie finale pour l'éclairage d'un groupe sur une heure	Wh
$Fecl_C$	Flux convectif récupérable de l'éclairage artificiel	Wh
$Fecl_R$	Flux radiatif récupérable de l'éclairage artificiel	Wh
$Fecl_{NE}$	Flux récupérable de l'éclairage artificiel non émis dans le local	Wh
$Nbh_{\_occ\_Einat\_sup}$	Nombre d'heures pendant lesquelles Ei_{nat} est supérieur à un seuil en occupation de jour	h
$Nbh_{\_occ\_Einat\_inf}$	Nombre d'heures pendant lesquelles Ei_{nat} est inférieur à un seuil en occupation de jour	h
$Nbh_{\_occ\_nuit}$	Nombre d'heures en occupation de nuit	h
$Nbh_{\_ecl\_non\_aut}$	Nombre d'heures pendant lequel l'éclairage est non autorisé	h
$Taux_{\_occ\_einat\_sup}$	Ratio du nombre d'heures pendant lesquelles Ei_{nat} est supérieur à un seuil en occupation de jour	-
$Taux_{\_eclnat}$	Ratio des surfaces du groupes ayant accès à la lumière naturelle	-
$Taux_{\_fond\_local}$	Ratio des surfaces du groupes étant situées en fond de local profond	-
$Taux_{\_pas\_eclnat}$	Ratio des surfaces du groupes n'ayant pas accès à la lumière naturelle	-
Grp_sans_accès	Indicateur de groupe sans accès à l'éclairage naturel	-

Grp_accès_mixte	Indicateur de groupe avec une partie sans accès à l'éclairage naturel et une partie avec accès	-
Grp_accès_total	Indicateur de groupe ayant un accès complet à l'éclairage naturel	-

Variables internes

Nom	Description	Unité			
$A_{local,l}$	Surface du local l	m²			
$A_{eclnat01}$	Type_baie=0 ou 1 Surface du groupe ayant accès à la lumière naturelle	m²			
$A_{eclnat0}$	Type baie= 0 Surface du groupe ayant accès à la lumière naturelle	m²			
$A_{eclnat2}$	Type baie= 2: surface du groupe ayant accès à la lumière naturelle	m²			
Ei_{ref}	Eclairement intérieur de référence pour le type de local considéré Les valeurs sont données dans le Tableau 79, issues des valeurs d'éclairement à maintenir sur la surface de référence de la zone de tâche. Ces valeurs sont spécifiées dans la norme NF EN 12464-1	lux			
Ei_{max_grad}	Eclairement naturel maximum au-delà duquel le système d'élcairage avec gradateur ne consomme plus d'énergie	lux		+ inf	
CTRL_ecl_occ(h)	commande de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation et en l'absence d'éclairage naturel		0	1	
CTRL_ecl-einat	Commande de l'éclairage artificiel en fonction de l'élcairement naturel en occupation		0	1	
Part-resid_grad	Part correspondant à la puissance résiduelle du gradateur sur la puissance totale d'éclairage		0	1	0.15
C1	coefficient correspondant au taux d'utilisation de l'éclairage en l'absence d'éclairage naturel	-	0	1	
C2	coefficient correctif de C1 pour les locaux bénéficiant d'éclairage naturel *Facteur de dépendance de l'éclairage artificiel à la lumière naturelle*	-			
$C2_{ae}$	Coefficient C2 pour la partie du local ayant accès effectif à l'éclairement naturel	-			
$C2_{pae}$	Coefficient C2 pour la partie du local n'ayant pas accès effectif à l'éclairement naturel	-			
$Pecl_{\_immo\_projet}$	zone commerce, magasin, zones commerciales et bureaux : Puissance de l'éclairage 'immobilier' du projet pour les locaux aire de vente, petits magasins et bureaux	W/m²			
$Pecl_{\_mob}$	zone commerce, magasin, zones commerciales et bureaux : Puissance de l'éclairage 'mobilier' du projet pour les locaux aire de vente, petits magasins et bureaux	W/m²			
$Plim_{\_projet}$	zone commerce, magasin, zones commerciales: Valeur limite de puissance d'éclairage du projet en dessous de laquelle un éclairage 'mobilier' est utilisé pour les locaux aire de vente	W/m²			
Romoyen	coefficient de réflexion lumineuse moyen des parois				

$Einat_{baiedif(n)}$	éclairement du plan utile par l'éclairement diffus du ciel en provenance des baies avec n=0 à 5	
$Einat_{plafref(n)}$	éclairement du plan utile par le plafond éclairé par le rayonnement réfléchi du sol n=0 à 5	
$Einat_{inter(n)}$	éclairement du plan utile par les interréflections sur les parois n=0 à 5	
Flteq(2)	flux lumineux équivalent correspondant aux interréflections relatif à la partie au dessus du plan utile des baies	
Flteq(0),	flux lumineux équivalents correspondants aux interréflections relatif aux éclairants de grand volume non répartis uniformément	
Flteq(1)	Flux lumineux équivalent correspondant aux interréflections relatif aux éclairants de toiture uniformément répartis	lm
$Einat_{(0)}$	Eclairement du plan utile par les éclairants type_baie =0	
$Einat_{(1)}$	Eclairement du plan utile par les éclairants type_baie =1	
$Einat_{(2)}$	Eclairement du plan utile par les éclairants type_baie =2	
$Ecl_{\_immo\_projet}$	zones bureaux : Niveau d'éclairement de l'éclairage 'immobilier' du projet pour les locaux de bureaux	Lux

Constantes

Nom	Description	Unité			Conv.
$R^{gr}_{A,AT}$	Ratio de la surface totale des parois du groupe à la surface utile du groupe	-			4,5
$C_{rec\_ecl\_conv}$	Récupération sous forme convective des apports d'éclairage	-			0,5
$C_{rec\_ecl\_rad}$	Récupération sous forme radiative des apports d'éclairage	-			0,5
$C_{rec\_ecl\_non\_emis}$	Part non récupérée des apports d'éclairage	-			0,0
$Eff_{\_conv}$	zone commerce, magasin, zones commerciales: Efficacité lumineuse conventionnelle pour le calcul de la puissance d'éclairage au-dessous de laquelle un éclairage mobilier est nécessaire pour les locaux aire de vente	lm/W			80
Ei_{min}	Elairement naturel minimum en-deçà duquel l'éclairage artificiel est indispensable	lux	0	+inf.	100
$Plim_{\_conv}$	zone commerce, magasin, zones commerciales: Puissance électrique conventionnelle de l'éclairage pour le calcul de la puissance d'éclairage au-dessous de laquelle un éclairage mobilier est nécessaire pour les locaux aire de vente	W/m²			20
$Pecl_{\_mob\_petit\_magasin}$	zone commerce, magasin, zxones commerciales: Puissance de l'éclairage 'mobilier' du projet pour les locaux petits magasins	W/m²			50
	Locaux divisés Type_baie= 2				
Roplafond_pv	coefficient de réflexion lumineuse du plafond				0.7
Romurs_pv	coefficient de réflexion lumineuse des murs				0.5
Rosol_pv	coefficient de réflexion lumineuse du sol				0.2
Rmursol_pv	ratio de la surface des murs à la surface du sol				2.5
	Locaux de grands volumes Type_baie= 0 et 1				

Roplafond_gv	coefficient de réflexion lumineuse du plafond	0.5
Romurs_gv	coefficient de réflexion lumineuse des murs	0.5
Rosol_gv	coefficient de réflexion lumineuse du sol	0.2
Rmursol_gv	ratio de la surface des murs à la surface du sol	0.5
	Pour les éclairants répartis uniformément Type baie= 1	
FFbpu	Facteur de forme entre une baie et le plan utile	0.8
FFplpu	Facteur de forme entre le plafond et le plan utile	0.9
	Pour les autres éclairants : type baie= 0 et/ou 2	
FFbpu_h	Facteur de forme entre une baie et le plan utile	0.4
FFplpu_h	Facteur de forme entre le plafond et le plan utile	0.8
K1gvu	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT1 pour une baie de type 1	
K2gvu	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT2 pour une baie de type 1	
K3gvu	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT3 pour une baie de type 1	
K1gv	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT1 pour une baie de type 0	
K2gv	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT2 pour une baie de type 0	
K3gv	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT3 pour une baie de type 0	
K1vn	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT1 pour une baie de type 2	
K2vn	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT2 pour une baie de type 2	
K3vn	Coefficient du polynome permettant de calculer Einat relatif au flux lumineux FIT3 pour une baie de type 2	

Tableau 78 : Nomenclature du modèle

7.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

7.1.3.1 ***Calcul de la puissance d'éclairage totale, Pecl_tot,l, pour Th-B***

si Type_bat = Bâtiment à usage d'habitation- maison individuelle ou accolée, Bâtiment à usage d'habitation- logement collectif

$$P_{ecl\_tot} = 1 \quad W/m^2 \qquad \textbf{(834)}$$

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 1

Grad_ecl = 1

fr_Grad_Ecl = 0

si Type_bat = Enseignement secondaire (partie nuit)

ou Bâtiment à usage d'habitation – établissement sanitaire avec hébergement

et si Type_local = chambre sans cuisine ni salle de bain

ou chambre sans cuisine avec salle de bain

ou chambre sans cuisine avec salle d'eau

$P_{ecl\_tot,l}$ = 4 W/m²

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 1

Grad_ecl = 1

fr_Grad_Ecl = 1

si Type_bat = **hôtel (partie nuit)**

et si Type_local = chambre sans cuisine avec salle de bain

$P_{ecl\_tot,l}$ = 4,65 W/m²

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 1

Grad_ecl = 1

fr_Grad_Ecl = 1

Sinon

$$P_{ecl\_tot} = 2 * Ei_{ref} / 100 \quad W/m^2 \qquad \textbf{(835)}$$

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 2

Grad_ecl = 1

fr_Grad_Ecl = 1

Ei_{ref} est issu du Tableau 79.

7.1.3.2 ***Calcul de la puissance d'éclairage totale, Pecl_tot,l, pour Th-C***

7.1.3.2.1 Zones hébergement hors hôpitaux

Ce calcul n'est à mener qu'une seule fois en début de simulation.

si Type_bat = Enseignement secondaire (partie nuit)

ou établissement sanitaire avec hébergement

et si Type_local = chambre sans cuisine ni salle de bain

ou chambre sans cuisine avec salle de bain

ou chambre sans cuisine avec salle d'eau

$P_{ecl\_tot,l}$ = 4 W/m²

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 1

Grad_ecl = 1

si Type_bat = **hôtel (partie nuit)**

et si Type_local = chambre sans cuisine avec salle de bain

$P_{ecl\_tot,l}$ = 4,65 W/m²

$P_{ecl\_aux,l}$ = 0 W/m²

Gest_ecl = 1

Grad_ecl = 1

7.1.3.2.2 Eclairage d'accentuation de l'aire de vente des commerces

Ce calcul n'est à mener qu'une seule fois en début de simulation.

La consommation d'éclairage résulte de l'éclairage général, opposable et appelé ici immobilier et l'éclairage apporté après construction, appelé ici mobilier. Les deux ont bien évidemment un impact sur les consommations d'énergie et les apports internes alors que seul le premier est connu.

Une contrainte pour cette prise en compte est qu'il est délicat de prendre en compte le niveau d'éclairement requis ou calculé hors du champ d'une réglementation énergie et qui nécessiterait de définir de façon opposable et les niveaux requis et le mode de calcul du résultat.

Le principe retenu est de prendre en compte l'efficacité lumineuse moyenne des seules sources de l'éclairage immobilier.

En retenant une valeur conventionnelle de puissance Plim_conv associée à une efficacité lumineuse Eff_conv en-dessous de laquelle on considère qu'un éclairage mobilier est nécessaire, on peut calculer cette même valeur limite pour une autre efficacité,

$$P\,lim_{projet} = P\,lim_{\_conv} . \times Eff_{\_conv} / Eff_{\_immo\_projet} \quad (836)$$

Au dessous de cette valeur, le complément est calculé sur la base d'une puissance surfacique de 50W/m² (mi halogène, mi fluorescente).

Si Type_bat = commerces magasins ZI

si Type_local = petit magasin de vente

$Pecl_{\_immo\_projet}$ = 0

$Pecl_{\_mob\_petit\_magasin}$ = 50 W/m²

$P_{ecl\_tot,l} = Pecl_{\_immo\_projet} + Pecl_{\_mob\_petit\_magasin}$

si Type_local = aire de vente

$Pecl_{\_immo\_projet} = P_{ecl\_tot,l}$

On calcule la valeur limite en-dessous de laquelle un éclairage mobilier est utilisé :

$Plim_{\_projet} = Plim_{\_conv} * Eff_{\_conv} / Eff_{\_immo\_projet}$

L'éclairage mobilier a pour valeur :

$Pecl_{\_mob} = \max \{0 ; 50 * (1 – Pecl_{\_immo\_projet} / Plim_{\_projet})\}$

La puissance d'éclairage totale installée est alors :

$P_{ecl\_tot,l} = Pecl_{\_immo\_projet} + Pecl_{\_mob}$

On considère que la puissance mobilière et la puissance immobilière sont gérées de la même façon.

7.1.3.2.3 Locaux de bureaux des zones de bureaux

Ce calcul n'est à mener qu'une seule fois en début de simulation.

La consommation d'éclairage résulte de l'éclairage général, opposable et appelé ici immobilier et l'éclairage apporté après construction, appelé ici mobilier. Si l'éclairage immobilier ne permet pas d'atteindre l'éclairement requis, l'éclairage mobilier assure le complément sur la base de $Eff_{\_ecl\_mob}$ =1 W/m²/100 lux.

Si Type_bat = bureaux

si Type_local = bureaux

$Pecl_{\_immo\_projet} = P_{ecl\_tot,l}$

si $Pecl_{\_immo\_projet} < 10$ W/m²

$Ecl_{\_immo\_projet} = 100 * Pecl_{\_immo\_projet} / Eff_{\_ecl\_immo\_projet}$

si $Ecl_{\_immo\_projet} < Ei_{proj}$

$Pecl_{\_mob} = (Ei_{proj} - Ecl_{\_immo\_projet})/100* Eff_{\_ecl\_mob}$

sinon

$Pecl_{\_mob} = 0$

$P_{ecl\_tot,l} = Pecl_{\_immo\_projet} + Pecl_{\_mob}$

sinon

$P_{ecl\_tot,l} = Pecl_{\_immo\_projet}$

7.1.3.2.4 Autres locaux

Les caractéristiques des systèmes d'éclairage des autres locaux sont des données d'entrée.

7.1.3.3 *Calcul de la surface du groupe ayant accès à la lumière naturelle (voir §7.1.3.6.1)*

Ce calcul n'est à mener qu'une seule fois en début de simulation : sommation sur les locaux d'un groupe. Il faut distinguer, d'une part, la surface des locaux de grand volume, d'autre part, les locaux avec un volume normal.

Le local de grand volume est défini par convention. Les locaux de grand volume sont donnés dans le Tableau 79, il s'agit :

- des établissements sportifs scolaires : salle de sport
- Des établissements sportifs privés et municipaux : salle de sport
- Industrie en 3*8 : aire de production
- Industrie de 8 à 18h : aire de production
- Commerce : aire de vente supérieure à 300 m²

Calcul de la surface des locaux de grand volume ayant accès à l'éclairement naturel intérieur :

locaux éclairés par des baies de type 1 (GVU) et/ou 0 (GV) (la répartition uniforme des éclairants de toiture permet un éclairage naturel homogène du local de grand volume). Dans ce cas la valeur de Ratioecl_nat,l est égale à 1.

$A_{eclnat01}=\sum_{l\in groupe} A_{gr}.Ratio\_local_{,l}.Ratioecl\_nat,l$

Ou

locaux éclairés par des baies de type 0 (l'éclairement n'est pas homogène)

$A_{eclnat0}=\sum_{l\in groupe} A_{gr}.Ratio\_local_{,l}.Ratioecl\_nat,l$

Calcul de la surface des locaux de volume classique ayant accès à l'éclairement naturel intérieur :

locaux éclairés par des baies de type 2 (VN)

$A_{eclnat2}=\sum_{l\in groupe} A_{gr}.Ratio\_local_{,l}.Ratioecl\_nat,l$

7.1.3.4 *Calcul de l'éclairement naturel dans les parties y ayant accès*

Calcul du niveau d'éclairement naturel dans les parties du groupe ayant accès à la lumière naturelle :

S'il s'agit d'un local de grand volume

$$Einat = Einat_{(1)} + Einat_{(0)} \quad \textbf{(837)}$$

Sinon le local a un volume normal

$$Einat = Einat_{(2)} \quad \textbf{(838)}$$

Note : Pour les groupes dont tous les locaux ont un accès impossible à la lumière naturelle ($A_{eclnat} = 0$), on prendra $Ei_{nat} = 0$ pour tous les locaux du groupe.

Chacun des termes de cette équation est calculé comme suit.

Pour les baies de Type 0, 1 (Locaux de grand volume équipés et/ou d'éclairants répartis uniformément sur la toiture et/ou d'autres éclairants)

Pour les grands volumes, part des éclairants de toiture uniformément répartis : **Type_baie = 1 ou GVU**

$Einat_{baiedif(1)}$ * Aeclnat01= Flt2(1) * FFbpu

$Einat_{plafref(1)}$ * Aeclnat01= Flt3(1) * roplafond_gv * FFplpu

Flteq(1) = Rosol_gv * Flt1(1) + Flt2(1) + roplafond_gv * Flt3(1)

Romoyen = (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)

$Eint_{inter(1)}$ * Aeclnat01= [Rosol_gv * Flt1(1) + Flt2(1) + roplafond_gv * Flt3(1)] / RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

Soit $Einat_{(1)}$ =1/ Aeclnat01*($Einat_{baiedif(1)}$ + $Einat_{plafref(1)}$ +$Einat_{inter(1)}$) peut s'écrire sous la forme

$Einat_{(1)}$=1/ Aeclnat01*[K1gvu*Flt1(1)+K2gvu*Flt2(1)+K3gvu*Flt3(1)]

Avec K1gvu, K2gvu et K3gvu des constantes qui prennent les expressions :

K1gvu= Rosol_gv/RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

K2gvu= FFbpu +1/RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

K3gvu= roplafond_gv * FFplpu + roplafond_gv/ RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

Pour les grands volumes éclairés part des éclairants verticaux et horizontaux (à condition pour les éclairants horizontaux que ceux-ci sont attribués à des locaux de grand volume non éclairés de façon homogène du fait de la répartition des éclairants de toiture) : **Type_baie = 0 ou GV**

$Einat_{baiedif(0)}$ = Flt2(0) * FFbpu_h / Aeclnat01

$Einat_{plafref(0)}$ = Flt3(0) * FFplpu_h * roplafond_gv / Aeclnat01

Flteq(0) = Rosol_gv * Flt1(0) + Flt2(0) + roplafond_gv * Flt3(0)

Romoyen = (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)

$Einat_{inter(0)}$ = [Rosol_gv * Flt1(0) + Flt2(0) + roplafond_gv * Flt3(0)] / (RgrA,At * Aeclnat01) * (Romoyen / (1-Romoyen))

Soit $Einat_{(0)}$ =1/ Aeclnat01*($Einat_{baiedif(0)}$ + $Einat_{plafref(0)}$ +$Einat_{inter(0)}$) peut s'écrire sous la forme

$Einat_{(0)}$=1/ Aeclnat01*[K1gv*Flt1(0)+K2gv*Flt2(0)+K3gv*Flt3(0)]

Avec K1gv, K2gv et K3gv des constantes qui prennent les expressions :

K1gv= Rosol_gv/RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

K2gv= FFbpu_h +1/RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

K3gv= roplafond_gv * FFplpu_h + roplafond_gv/ RgrA,At * (Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv)/ (2 + Rmursol_gv) / (1-[(Rosol_gv + Rmursol_gv * Romurs_gv + Roplafond_gv) / (2 + Rmursol_gv)])

Pour les baies de type 2 ou VN (baies éclairants des locaux normaux c'est-à-dire autre que de grand volume) **:**

Sont concernés ici tous les locaux non déjà traités ci-dessus.

Part des éclairants verticaux : **Type_baie = 2**

$Einat_{baiedif(2)}$ = Flt2(2) * FFbpu_h / Aeclnat2

$Einat_{plafref(2)}$ = Flt3(2) * FFplpu_h * roplafond_pv / Aeclnat2

Flteq(2) = (Rosol_pv * Flt1(2) + Flt2(2) + roplafond_pv * Flt3(2)

Romoyen = (Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv) / (2 + Rmursol_pv)

$Einat_{inter(2)}$ = [Rosol_pv * Flt1(2) + Flt2(2) + roplafond_pv * Flt3(2)] / (RgrA,At * Aeclnat2) * (Romoyen / (1-Romoyen))

Soit $Einat_{(2)}$ =1/ Aeclnat2*($Einat_{baiedif(2)}$ + $Einat_{plafref(2)}$ +$Einat_{inter(2)}$) peut s'écrire sous la forme

$Einat_{(2)}$=1/ Aeclnat2*[K1vn*Flt1(2)+K2vn*Flt2(2)+K3vn*Flt3(2)]

Avec K1vn, K2vn et K3vn des constantes qui prennent les expressions :

K1vn= Rosol_pv/RgrA,At * (Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv)/ (2 + Rmursol_pv) / (1-[(Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv) / (2 + Rmursol_pv)])

K2vn= FFbpu_h +1/RgrA,At * (Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv)/ (2 + Rmursol_pv) / (1-[(Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv) / (2 + Rmursol_pv)])

K3vn= roplafond_pv * FFplpu_h + roplafond_pv/ RgrA,At * (Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv)/ (2 + Rmursol_pv) / (1-[(Rosol_pv + Rmursol_pv * Romurs_pv + Roplafond_pv) / (2 + Rmursol_pv)])

7.1.3.5 *Calcul de l'autonomie en lumière naturelle*

L'autonomie en lumière naturelle est le nombre d'heures pendant lesquelles l'éclairage naturel est suffisant et pendant lesquelles on n'a pas recours à l'éclairage artificiel. Ainsi, lorsque l'éclairement naturel intérieur dépasse une valeur de référence $Seuil_{\_auto\_lumi}$, on incrémente une variable de comptage.

L'évaluation de l'autonomie s'effectue au niveau du groupe.

- lorsque l'éclairage est autorisé : I_{Ecl} = 1

Si Jour_astro = 0, alors $Nbh_{\_occ\_nuit} = Nbh_{\_occ\_nuit}(h-1) + 1$ heures de nuit

Sinon si Jour_astro > 0 : heures de jour

Si $(Ei_{nat(0)} + Ei_{nat(1)} + Ei_{nat(2)}) \geq Seuil_{\_auto\_lumi}$

$$Nbh_{\_occ\_Einat\_sup} = Nbh_{\_occ\_Einat\_sup}(h-1) + 1 \quad \textbf{(839)}$$

sinon

$$Nbh_{\_occ\_Einat\_inf} = Nbh_{\_occ\_Einat\_inf}(h-1) + 1$$

- lorsque l'éclairage est non autorisé : I_{Ecl} = 0

$$Nbh_{\_ecl\_non\_aut} = Nbh_{\_ecl\_non\_aut}(h-1) + 1$$

On évalue également l'autonomie d'un groupe en lumière naturelle par un taux de disponibilité de la lumière naturelle pendant les plages d'occupation et les heures de jour :

$Taux_{\_occ\_einat\_sup}$ = 100*$Nbh_{\_occ\_Einat\_sup}$ / ($Nbh_{\_occ\_Einat\_sup}$ + $Nbh_{\_occ\_Einat\_inf}$)

Pour compléter l'indicateur d'autonomie en lumière naturelle, on donne aussi les proportions des surfaces du groupe ayant accès à la lumière naturelle. Ainsi, on définit les taux suivants :

- part de surface du groupe ayant accès à la lumière naturelle

Si baie de Type 1 et ou 0 alors $Taux_{eclnat}$= ($A_{eclnat01}$ + $A_{eclnat0}$ + $A_{eclnat2}$) / A_{gr} 1

Remarque : si $A_{eclnat01}$ est non nul alors $A_{eclnat0}$ est nul et inversement. En effet, selon la limite de la méthode établie initialement il ne peut exister dans un même groupe deux locaux de grand volume dont l'un disposerait d'un éclairement vertical uniformément réparti et l'autre non.

si $Taux_{eclnat}$ = 0 Grp_sans_accès = 1, Grp_accès_mixte = 0, Grp_accès_total = 0

si 0 < $Taux_{eclnat}$ < 1 Grp_sans_accès = 0, Grp_accès_mixte = 1, Grp_accès_total = 0

si $Taux_{eclnat}$ = 1 Grp_sans_accès = 0, Grp_accès_mixte = 0, Grp_accès_total = 1

- part de surface du groupe en fond de local profond ayant accès à la lumière naturelle

Soient les locaux tels que $Ratio_{eclnat}$ > 0 $Taux_{\text{fond\_local}} = (\sum_l Ratio_{local,l} . (1 - \text{Ratio}_{\text{ecl\_nat,l}}))$

- part de surface du groupe n'ayant pas accès à la lumière naturelle

Soient les locaux tels que $Ratio_{eclnat}$ = 0 $Taux_{\text{pas\_eclnat}} = \sum_l Ratio_{local,l}$.

7.1.3.6 *Calcul des consommations d'éclairage*

7.1.3.6.1 Calcul pour tous usages à l'exception de Bâtiment à usage d'habitation-maison individuelle et accolée et Bâtiment à usage d'habitation- logement collectif

Le calcul horaire s'effectue au niveau du groupe en sommant les contributions des différents locaux qui le composent :

$$C_{ECL\_GR} = \sum_{l \in groupe} C_{ECL\_local,l} \quad (840)$$

Le calcul de la consommation d'éclairage artificiel d'un local est la somme de deux contributions :

- le produit de la puissance d'éclairage artificiel installée par sa durée d'utilisation effective sur une heure (lampes allumées), lorsque la zone est occupée (I_{ECL}=1)
- le produit de la puissance des appareillages et des périphériques de gestion par la durée de non utilisation, lorsque l'éclairage artificiel est éteint

Lorsque le local est en période d'occupation mais que les lampes sont éteintes par le dispositif de gestion de la lumière naturelle, il doit subsister la consommation des appareillages et des périphériques de gestion. C'est pourquoi la consommation horaire n'est pas nécessairement strictement nulle et est au minimum égale à la consommation horaire de ces appareillages et périphériques de gestion.

En l'absence de dispositifs de gestion, la consommation des périphériques de gestion est nulle :

si (Gest_ecl = 0 ou si Gest_ecl = 1 ou si Gest_ecl = 2)

et

(Grad_ecl = 0 ou si Grad_ecl = 1)

alors

$P_{ecl\_aux} = 0$

$$Cecl_{local,i} = Max\left(Pecl_{tot,l} * CTRLecl_{occ,l} * CTRLecl_{einat,l} ; Pecl_{aux,l}\right) * \frac{A_{local,l}}{1000} \quad (841)$$

Détermination des différents termes de l'équation :

Surface du local $A_{local,l}$

Avec $A_{local,l}$ =Agr. $Ratio_{local,l}$

Puissances surfaciques d'éclairage : $P_{ecl\ tot,l}$ et $P_{ecl\ aux,l}$

Les puissances surfaciques d'éclairage sont définies au niveau du local.

- P_{ecl_tot} est la puissance surfacique installée pour l'éclairage intérieur des locaux. Elle inclut la puissance des lampes et accessoires, y compris le système de gestion intégré dans les luminaires ou associé à ces derniers. Tous les dispositifs d'éclairage installés à poste fixe ainsi que les éclairages d'appoint des postes de travail doivent être pris en compte, à l'exclusion des dispositifs d'éclairage de sécurité.

- P_{ecl_aux} est la puissance surfacique des appareillages et des périphériques de gestion intégrés dans les luminaires ou associés à ces derniers, lorsque les lampes sont éteintes. Il s'agit de la puissance résiduelle correspondant aux périodes d'inoccupation ainsi qu'aux périodes d'occupation durant lesquelles les lampes sont éteintes. Cette puissance correspond à tous les systèmes de gestion (horloges, gradateurs, détecteurs, boutons poussoir alimentés) et ne comprend pas les ballasts, les transformateurs ainsi que les drivers.

Prise en compte du coefficient $CTRL_{ecl\ occ,l}$

La gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation est caractérisée par le paramètre de commande $CTRL_{ecl\_occ,l}$, correspondant à un taux d'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation et en l'absence d'éclairage naturel.

La commande de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation est calculée de la manière suivante :

Si I_{Ecl} (h) = 0, alors : *CTRL_ecl_occ* (h) = 0 Si I_{Ecl} (h) = 1, alors : *CTRL_ecl_occ* (h) = C1	(842)

Prise en compte du type de commande d'éclairage : coefficient C1

Le coefficient C1 correspond à un pourcentage moyen d'utilisation qui dépend d'une part du mode d'allumage et d'extinction de l'éclairage artificiel et d'autre part du type de local. En effet, chaque local peut être associé à un taux d'occupation effectif spécifique (norme NF EN 15193 version de novembre 2007). Les différents modes de gestion sont les suivants :

- **Systèmes sans détection automatique de présence et/ou d'absence**
    - Pas d'interrupteur manuel, ni de détecteur de présence ou d'absence (éclairage permanent pendant les plages d'occupation) : Gest_ecl = 0

- Interrupteur manuel marche/arrêt : Gest_ecl = 1
- Interrupteur manuel marche/arrêt et système de programmation horaire (horloge) : Gest_ecl = 2

- **Systèmes avec détection automatique de présence et/ou d'absence**
  - Marche et arrêt automatiques : Gest_ecl = 3

Le système de gestion allume automatiquement le ou les luminaires à chaque fois qu'il y a une présence dans la partie à éclairer et les éteint automatiquement et complètement au maximum 15 min après détection de la dernière présence dans cette partie. Les automatismes ne peuvent permettre le déclenchement automatique de l'éclairage artificiel dans les logements, les bureaux, les salles de réunion, les salles de classe, les salles polyvalentes, qu'après une action manuelle d'un occupant du local réalisée moins de 6H avant le déclenchement automatique.

  - Marche manuelle et arrêt automatique : Gest_ecl = 4

Le ou les luminaires ne peuvent être allumés qu'à l'aide d'un interrupteur manuel dans la partie à éclairer (ou tout près de cette zone) et, s'ils ne sont pas éteints manuellement, ils sont automatiquement et complètement éteints par un système de gestion automatique 15 min au plus tard après détection de la dernière présence dans cette partie.

Lorsqu'il n'y a aucun interrupteur ou détecteur d'occupation dans le local (Gest_ecl=0), C1 est toujours pris égal à 1. On suppose que l'éclairage est déclenché automatiquement pendant les plages d'occupation. Ce cas peut correspondre à un local à éclairement permanent (escalier, etc.) :

Si Gest_ecl = 0 : C1 =1

Les valeurs de C1 pour les autres types de commande sont données dans le tableau 2. Elles ont été calculées à partir de la méthode donnée dans la norme NF EN 15193 « Exigences énergétiques pour l'éclairage » version de novembre 2007.

type de zone	type de local	interrupteur manuel Gest_ecl = 1	interrupteur manuel et système de programmation horaire Gest_ecl = 2	Marche et arrêt automatiques Gest_ecl = 3	Marche manuelle / arrêt automatique Gest_ecl = 4	Eréf (lux)
Bureaux	Bureau	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	salle de réunion	0,7	0,65	0,6	0,5	500
	Circulation Accueil	0.8	0.75	0.7	0.6	100
	Sanitaires collectifs	0,7	0,65	0,6	0,5	200
Enseignement primaire	salles de classe	0.95	0.9	0.85	0.75	300
	Bureau	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	salle de réunion	0.8	0.75	0.7	0.6	300
	salle de repos	0.8	0.75	0.7	0.6	300
	Circulation Accueil	0.6	0.55	0.5	0.4	100
	Sanitaires vestiaire	0,7	0,65	0,6	0,5	200
Enseignement secondaire (partie jour)	salles de classes	0.95	0.9	0.85	0.75	300
	salle de réunion	0.8	0.75	0.7	0.6	300
	salles enseignement informatique	0.95	0.9	0.85	0.75	300
	Salle de conférence salle polyvalente	0.8	0.75	0.7	0.6	300
	Bureau standard	0,9	0,85	0,8	0,7	500
	centre de documentation	0.8	0.75	0.7	0.6	500
	Salle des professeurs	0.8	0.75	0.7	0.6	300
	Circulation Accueil	0.6	0.55	0.5	0.4	100
	Sanitaire collectifs	0,7	0,65	0,6	0,5	200

Tableau 79 : valeurs du coefficient C1 et de l'éclairement intérieur de référence

Prise en compte de la gestion de l'éclairage artificiel selon les apports de lumière naturelle : coefficient **$CTRL_{ecl\_einat,l}$**

L'utilisation de l'éclairage artificiel peut être avantageusement adaptée aux apports de lumière naturelle. En effet, il existe plusieurs modes de gestion qui permettent de réduire le temps effectif d'utilisation et/ou la puissance effective de l'éclairage.

La gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel est caractérisée par le paramètre de $CTRL_{ecl\_einat}$, correspondant au taux moyen d'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel, en occupation.

La commande de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel intérieur est calculée de la manière suivante :

$$CTRL_{ecl\_einat} = Ratio_{écl\_nat,l} * C2_{ae,l} + (1 - Ratio_{écl\_nat,l}) * C2_{pae,l}$$

Détermination de l'accès à l'éclairage naturel d'un local : $Ratio_{écl\ nat,l}$

Dans la méthode de calcul réglementaire, la part de chaque local l, ayant un accès effectif à l'éclairement naturel, est renseignée par le paramètre d'intégration $Ratio_{écl\_nat,l}$. Il est déterminé selon la règle ci-après. Pour rappel, les locaux équipés d'éclairants uniformément répartis en toiture (type baie 1) ont entièrement accès à l'éclairement naturel, en conséquence le ratio d'accès à l'éclairement naturel du local afférent est égale à 1.

1) Accès effectif

Les locaux ayant un accès effectif à l'éclairage naturel sont constitués :

- des groupes munis de baies non horizontales et dont la profondeur est inférieure ou égale à

$$2,5*(h_{Li} - h_{Ta}) \qquad [m]$$

h_{Li} étant la hauteur du linteau par rapport au sol [m] et h_{Ta} la hauteur du plan de travail (plan de référence) par rapport au sol [m].

- pour les groupes d'une profondeur plus importante, des parties des groupes situées à une distance d'une baie non horizontale inférieure à $2,5*(h_{Li} - h_{Ta})$, sous réserve que les luminaires éclairant ces parties soient commandés de façon indépendante,

- des parties du groupe munies de parties vitrées uniformément réparties en toiture (éclairage zénithal, sheds, lanterneaux).

On appelle profondeur, la distance, perpendiculaire au centre de la paroi vitrée, entre celle-ci et une autre paroi du local.

- des locaux munis d'éclairants uniformément répartis en toiture (sheds, lanterneaux) baie type 1.

- des parties de locaux éclairées par des éclairants de toiture non uniformément répartis baie type 2. La surface éclairée par un éclairant est la partie du local dont la distance à la verticale au centre de l'éclairant est inférieur à 2,5 fois l'écart de hauteur entre le plan utile et l'altitude moyenne de l'éclairant.

2) Accès réduit

Les locaux ayant un accès réduit à l'éclairage naturel sont constitués :

- pour les groupes munis de baies non horizontale et dont la profondeur est supérieure à

$$2,5*(h_{Li} - h_{Ta}) \qquad [m]$$

des parties des groupes situées à une distance d'une baie non horizontale supérieure à $2,5*(h_{Li} - h_{Ta})$,

des parties des groupes situées à une distance d'une baie non horizontale inférieure à $2,5*(h_{Li} - h_{Ta})$, sous réserve que les luminaires éclairant ces parties soient commandés par un dispositif commun à toutes les parties du local,

- pour les locaux équipés d'éclairants non uniformément répartis en toiture (baie type 2), des parties n'étant pas à accès effectif.

3) Accès impossible

L'accès à l'éclairage naturel est impossible pour les locaux sans baies.

Détermination des coefficients $C2_{ae,l}$ et $C2_{pae,l}$

Les coefficients C2, c'est-à-dire $C2_{ae,l}$ et $C2_{pae,l}$, correspondent à un pourcentage moyen d'utilisation qui dépend du mode de gestion de l'éclairage en fonction des apports de lumière naturelle.

Les modes de gestion de l'éclairage artificiel selon les apports de lumière naturelle sont tous basés sur un seuil d'éclairement qui correspond à un éclairement à maintenir sur une surface de référence de la zone de travail dans le local considéré.

On rappelle que les valeurs de référence de l'éclairement à maintenir sur la zone de tâche Ei_{ref} sont données dans le Tableau 79 selon le type de local considéré. Ces valeurs proviennent des exigences de la norme NF EN 12464-1 version de juin 2003 (Eclairage des lieux de travail — Partie 1 : Lieux de travail intérieurs).

L'efficacité de ces modes de gestion est liée au bon montage des capteurs de niveau d'éclairement. Ils doivent se trouver dans des positions adéquates pour détecter les variations de l'éclairement de la zone de tâche.

Ces modes de gestion n'apportent pas tous les mêmes gains énergétiques, ce qui conduit à des coefficients C2 différents.

Les différents modes de gestion sont décrits ci-après :

- **gestion d'interrupteurs manuels marche-arrêt sans système de gestion de la lumière naturelle : Grad_ecl=1**

Pour les locaux sans système de gestion de la lumière naturelle mais munis d'interrupteurs manuels marche-arrêt, on suppose que l'usager intervient lui-même sur l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairement naturel intérieur. Le coefficient C2 suit alors une loi modélisée par la courbe correspondante de la figure 1, qui correspond à un comportement statistique moyen de l'usager.

- **Gestion par gradation automatique à éclairement constant : Grad_ecl = 2**

La gradation automatique permet d'apporter le complément de lumière artificielle lorsque l'éclairement naturel intérieur n'est pas suffisant, de manière à maintenir un éclairement total (naturel et artificiel) constant.

Lorsque l'éclairement naturel intérieur dépasse l'éclairement intérieur à maintenir, l'éclairage artificiel est automatiquement réduit à son minimum. On considère alors, dans ce mode, que la puissance effective de l'éclairage artificiel au niveau minimal est égale à 15% de la puissance de fonctionnement au niveau maximal.

Au-delà d'un niveau d'éclairement naturel intérieur plus important, égal à 2 fois l'éclairement intérieur à maintenir dans le local, on considère que les lampes sont automatiquement éteintes et que seuls les périphériques et appareillages de gestion continuent de fonctionner.

- **Gestion par détection de franchissement de seuil d'éclairement (interrupteur crépusculaire) :**

    - Allumage et extinction automatiques par détection de franchissement de seuil d'éclairement : Grad_ecl = 3

Ce mode de gestion consiste à allumer automatiquement l'éclairage artificiel lorsque l'éclairement naturel intérieur est inférieur à l'éclairement à maintenir dans le local. De plus, l'éclairage artificiel est automatiquement éteint lorsque l'éclairement naturel intérieur est supérieur à l'éclairement à maintenir dans le local.

    - Extinction automatique par détection de franchissement de seuil d'éclairement : Grad_ecl = 4

Ce mode de gestion consiste à éteindre automatiquement l'éclairage artificiel lorsque l'éclairement naturel intérieur est supérieur à l'éclairement à maintenir dans le local.

Lorsque que l'éclairement naturel intérieur est inférieur à l'éclairement à maintenir dans le local, ce mode de gestion autorise l'allumage de l'éclairage artificiel par l'utilisation d'un interrupteur manuel ou d'un détecteur de présence.

Les valeurs de $C2_{ae,l}$ et $C2_{pae,l}$, peuvent être différentes ou égales selon respectivement que l'éclairage est fractionné ou non. Il faut donc définir la notion de fractionnement.

<u>Prise en compte du fractionnement de l'éclairage artificiel en fonction des apports de lumière naturelle :</u>

Le fractionnement, $Fr\_{Grad\_ecl,l}$, est un paramètre intrinsèque au local. Il est renseigné par l'utilisateur On suppose que :

- toute ou partie de la surface d'un local peut avoir ou non accès à l'éclairement naturel,
- Lorsqu'une partie seulement de local a accès à la lumière naturelle, on considère que l'éclairement naturel intérieur dans la zone n'y ayant pas accès n'est pas nul mais réduit par rapport à l'éclairement naturel de la zone y ayant accès.
- Le système de gestion fractionné gère indépendamment la partie ayant accès à l'éclairement naturel et la partie n'y ayant pas accès. On définit donc deux coefficients C2 par local :
    - $C2_{ae,l}$ dans la partie du local l avec accès à la lumière naturelle
    - $C2_{pae,l}$ dans la partie du local l sans accès à la lumière naturelle
- Lorsque le système n'est pas fractionné, c'est la partie sans accès à l'éclairement naturel qui impose le fonctionnement de l'éclairage artificiel pour l'ensemble du local. Les coefficients sont alors égaux.

Selon les types de locaux les coefficients $C2_{ae,\,l}$ et $C2_{pae,l}$ se déterminent selon la procédure suivante :

- **Cas des locaux de grand volume éclairés uniformément par des éclairants de toiture avec ou sans baies verticales.**

Ces locaux sont supposés recevoir un éclairement naturel homogène. La notion de fractionnement en fonction du niveau d'accès à l'éclairement naturel n'est pas pris en compte.

Le système de gestion n'est donc pas fractionné $Fr_{\_Grad\_ecl,l} = 1$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)} + Ei_{nat(1)}$

- **Cas des locaux de grand volume éclairés par des éclairants de toiture non uniformément répartis et/ou des autres éclairants verticaux Type baie 0.**

Si $Fr_{\_Grad\_ecl,l} = 1$ (le système de gestion n'est pas fractionné) :

Si $1 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l} > 0,7$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)} * (2,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 1,5)$

Si $0,7 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l} > 0,2$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)} * (0,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 0,1)$

Si $0,2 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l}$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = 0$

Sinon (le système de gestion est fractionné) :

Si $1 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l} > 0,7$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)} * (2,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 1,5)$

$C2_{ae,l}$ calculé à l'aide des données du tableau 76 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)}$

Si $0,7 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l} > 0,2$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)} * (0,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 0,1)$

$C2_{ae,l}$ calculés à l'aide des données du tableau 76 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(0)}$

Si $0,2 \geq Ratio_{\_écl\_nat,l}$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = 0$

$C2_{ae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat(0)}$

Si $Ratio\__{écl\_nat0,l} = 0$ (tout le local n'a pas accès à la lumière naturelle)

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l} = 1$

- **Cas des autres locaux équipés d'éclairants verticaux et/ou d'éclairants non répartis uniformément en toiture Type baie 2**

Si $Fr\__{Grad\_ecl,l} = 1$ (le système de gestion n'est pas fractionné) :

Si $1 \geq Ratio\__{écl\_nat,l} > 0,7$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(2)} * (2,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 1,5)$

Si $0,7 \geq Ratio\__{écl\_nat,l} > 0,2$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat\_2} * (0,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 0,1)$

Si $0,2 \geq Ratio\__{écl\_nat,l}$

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = 0$

Sinon (le système de gestion est fractionné) :

Si $1 \geq Ratio\__{écl\_nat,l} > 0,7$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(2)} * (2,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 1,5)$

$C2_{ae,l}$ calculé à l'aide des données du Tableau 80 avec $Ei_{nat(2)}$

Si $0,7 \geq Ratio\__{écl\_nat,l} > 0,2$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = Ei_{nat(2)} * (0,5 * Ratio_{ecl\_nat,l} - 0,1)$

$C2_{ae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec $Ei_{nat(2)}$

Si $0,2 \geq Ratio\__{écl\_nat,l}$

$C2_{pae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec

$Ei_{nat} = 0$

$C2_{ae,l}$ calculés à l'aide des données du Tableau 80 avec $Ei_{nat(2)}$

Si $Ratio\__{écl\_nat,l} = 0$ (tout le local n'a pas accès à la lumière naturelle)

$C2_{ae,l} = C2_{pae,l} = 1$

Pour appliquer les algorithmes précédents afin de déterminer les valeurs de C2, c'est-à-dire $C2_{ae,l}$ et $C2_{pae,l}$, il faut déterminer la valeur de Einat. Elle dépend des caractéristiques du local selon qu'il est accès ou non à l'éclairage naturel et, si l'éclairage naturel n'est pas homogène, du fractionnement de l'éclairage artificiel le cas échéant.

Les valeurs des coefficients C2 sont données par des fonctions affines par morceaux, illustrées par les figures 1 et 2. Les coordonnées des points de références de ces fonctions sont données

par le tableau 3. Les valeurs de C2 sont obtenues par interpolation linéaire entre ces points de référence. La procédure pour déterminer C2 en fonction de la gestion de l'éclairage est décrite ci-après :

Grad_ecl	**Points de référence pour les coefficients C2 indiqués dans la figure 1**
0 : Pas de système de gestion de la lumière naturelle et pas d'interrupteur manuel	C2 = 1
1 : Gestion manuelle de l'éclairage en fonction de la lumière du jour (interrupteur manuel)	Point A : (Ei_{nat} = 0 ; C2 = 1) Point B : (Ei_{nat} = 100 ; C2 = 1) Point G : (Ei_{nat} = 700 ; C2 = 0,3) Point J : (Ei_{nat} = 2800 ; C2 = 0) pour Ei_{nat} > 2800, on a C2 = 0
2 : Gradation automatique à éclairement constant	Point A : (Ei_{nat} = 0 ; C2 = 1) Point B : (Ei_{nat} = 100 ; C2 = 1) Point E : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = Part_resid_grad) Point H : (Ei_{nat} = Ei_{max_grad} ; C2 = Part_resid_grad) Point I : (Ei_{nat} = Ei_{max_grad} ; C2 = 0) pour Ei_{nat} > 2* $Ei_{Ref,I}$, on a C2 = 0 avec : Ei_{max_grad} = 2 * $Ei_{Ref,I}$ Part_resid_grad = 0,15
3 : allumage et extinction automatiques par détection de franchissement d'un seuil d'éclairement.	Point A : (Ei_{nat} = 0 ; C2 = 1) Point C : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = 1) Point F : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = 0) pour Ei_{nat} > $Ei_{Ref,I}$, on a C2 = 0

4 : extinction automatique par détection de franchissement d'un seuil d'éclairement.	Point A : (Ei_{nat} = 0 ; C2 = 1) Point B : (Ei_{nat} = 100 ; C2 = 1) • Si $Ei_{Ref,I}$ < 700 (voir figure 1) : Point D : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = (1/6)*(6,7 – 7* $Ei_{Ref,I}$ /1000)) Point F : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = 0) pour Ei_{nat} > $Ei_{Ref,I}$, on a C2 = 0 • Si Ei,I ≥ 700 (voir figure 2) : Point G : (Ei_{nat} = 700 ; C2 = 0,3) Point D : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = 0,4 – $Ei_{Ref,I}$ /7000)) Point F : (Ei_{nat} = $Ei_{Ref,I}$; C2 = 0) pour Ei_{nat} > $Ei_{Ref,I}$, on a C2 = 0

Tableau 80 : points de référence pour calculer les valeurs des coefficients C2.

On note par convention :

Ei_{min} = 100

Ei_{max} = 2 * $Ei_{Ref,I}$.

Part_resid_grad = 0,15.

La mise en forme des deux algorithmes et des conventions conduisent aux deux courbes suivantes :

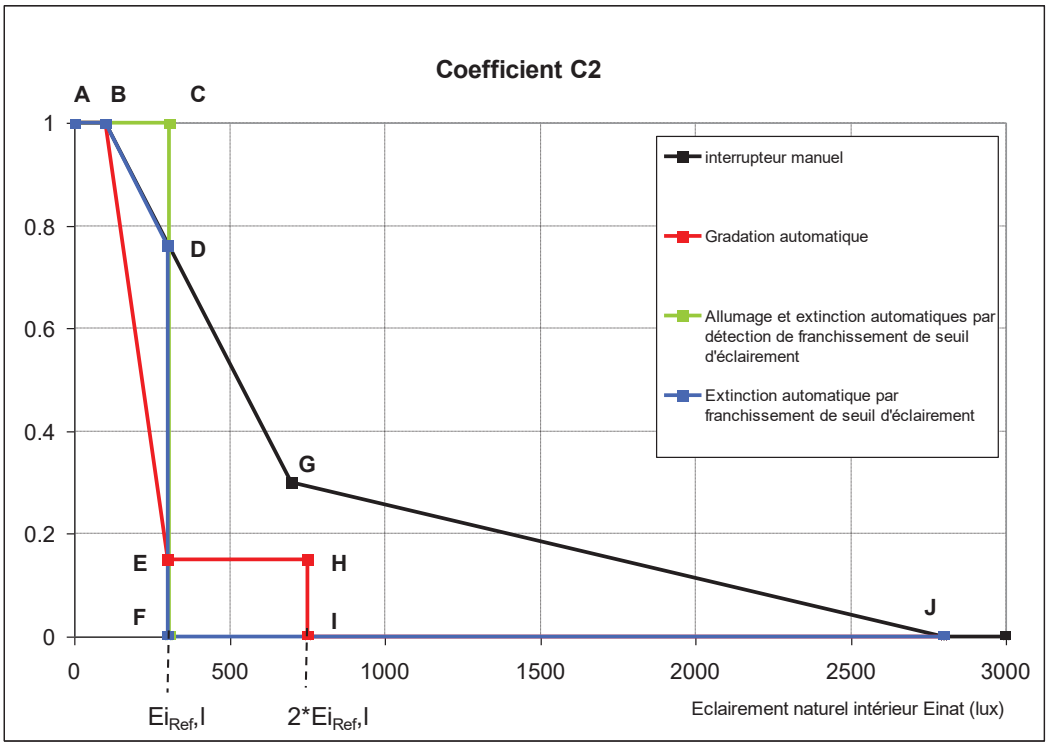


Figure 82 - Courbes donnant les valeurs de C2 selon l'éclairement naturel intérieur et le mode de gestion des apports de lumière naturelle. Exemple pour un éclairement intérieur $Ei_{Ref,I}$ inférieur à 700 lux.

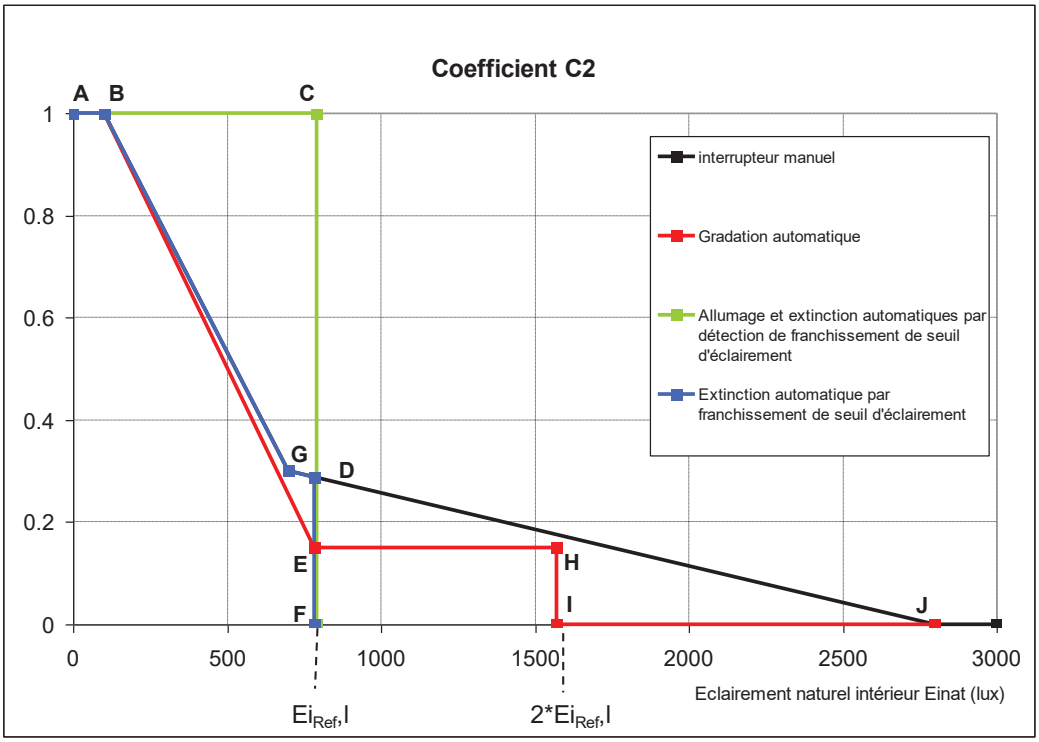


Figure 83 - Courbes donnant les valeurs de C2 selon l'éclairement naturel intérieur et le mode de gestion des apports de lumière naturelle. Exemple pour un éclairement intérieur $Ei_{Ref,I}$ supérieur à 700 lux.

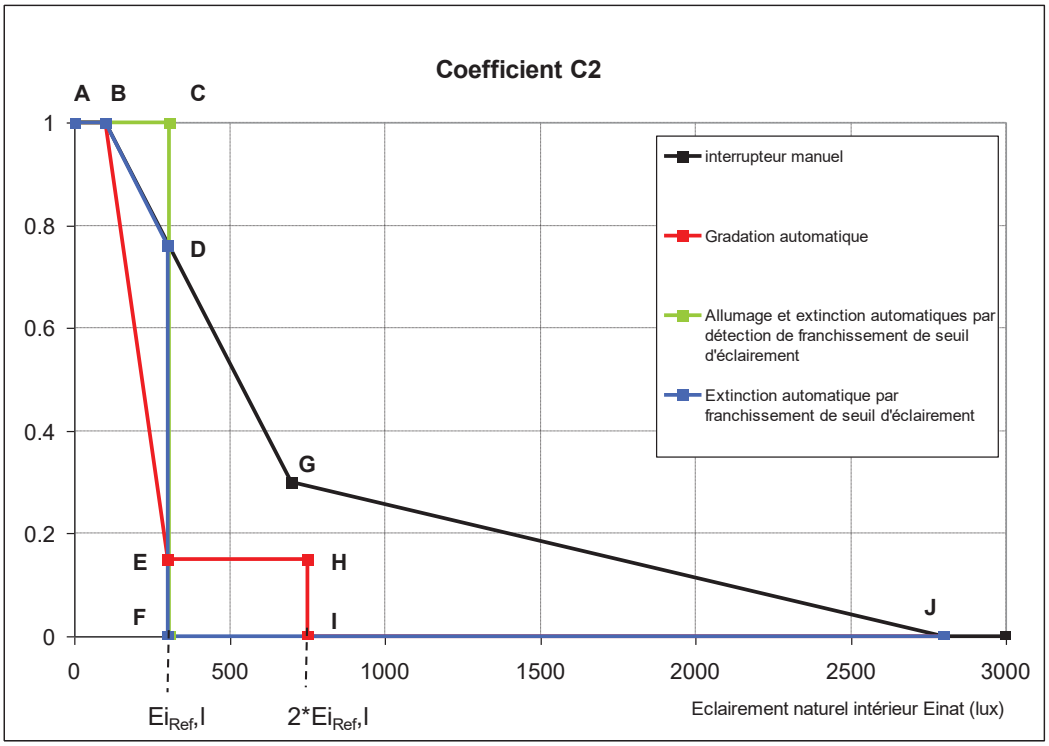


Figure 84 - Courbes donnant les valeurs de C2 selon l'éclairement naturel intérieur et le mode de gestion des apports de lumière naturelle. Exemple pour un éclairement intérieur $Ei_{Ref,I}$ inférieur à 700 lux.

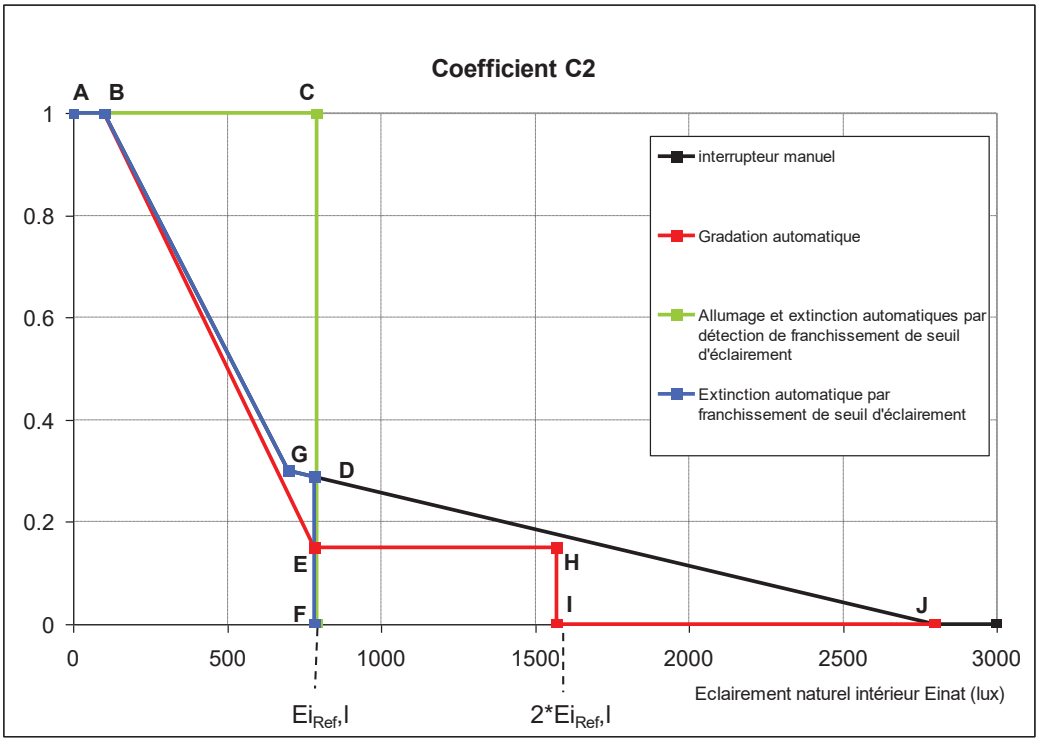


Figure 85 - Courbes donnant les valeurs de C2 selon l'éclairement naturel intérieur et le mode de gestion des apports de lumière naturelle. Exemple pour un éclairement intérieur $Ei_{Ref,I}$ supérieur à 700 lux.

7.1.3.6.2 Bâtiment à usage d'habitation- maison individuelle et accolée, Bâtiment à usage d'habitation- logement collectif

Le calcul est entièrement conventionnel. L'impact sur les consommations ne résulte donc que des caractéristiques des baies.

Le calcul de la consommation se fait en appliquant la même procédure et la même formule que dans les autres usages. En l'occurrence la formule :

$$C_{ECL\_local,l} = \text{Maximum } \{P_{ecl\_tot,l}*CTRL_{ecl\_occ,l}*CTRL_{ecl\text{-}einat,l} ; P_{ecl\_aux,l}\}*A_{local,l}/1000 \quad (843)$$

Et la procédure pour l'occupation :

La gestion de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation est caractérisée par le paramètre de commande $CTRL_{ecl\_occ,l}$, correspondant à un taux d'utilisation de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation et en l'absence d'éclairage naturel.

La commande de l'éclairage artificiel en fonction de l'occupation est calculée de la manière suivante :

Si I_{Ecl} (h) = 0, alors : *CTRL_ecl_occ* (h) = 0 Si I_{Ecl} (h) = 1, alors : *CTRL_ecl_occ* (h) = C1	(844)

Elle appliquée en revanche avec les valeurs suivantes :

- Puissance surfacique d'éclairage installée conventionnelle : P_{ecl_tot} = 1 W/m²

  Note : cette valeur résulte d'une puissance totale installée de 10 W/m2 et d'un facteur de non simultanéité d'utilisation des différents points d'éclairage.

- Puissance surfacique des appareillages et des périphériques de gestion : P_{ecl_aux} = 0 W/m²
- $Ratio_{\_ecl\_nat} = 1$
- Gest_ecl = 1

  C1 = 0.9 - type de contrôle : interrupteur seul

- Grad_ecl = 1

La formule prend alors l'expression suivante :

Si I_{Ecl} (h) = 0, (En inoccupation) alors $C_{ECL\_local,l}$ = 0

Si I_{Ecl} (h) = 1, (en occupation) $C_{ECL\_local,l} = P_{ecl\_tot,l}*C1*C2*A_{local,l}/1000$

La valeur de C2 est obtenue par interpolation linéaire entre les points suivants :

Points de référence pour le coefficient C2 indiqué dans le Tableau 80	
Point A : (Ei_{nat} = 0 ; C2 = 1) Point B : (Ei_{nat} = 100 ; C2 = 1) Point G : (Ei_{nat} = 200 ; C2 = 0,05)	Point J : (Ei_{nat} = 2800 ; C2 = 0) Pour Ei_{nat} > 2800, on a C2 = 0

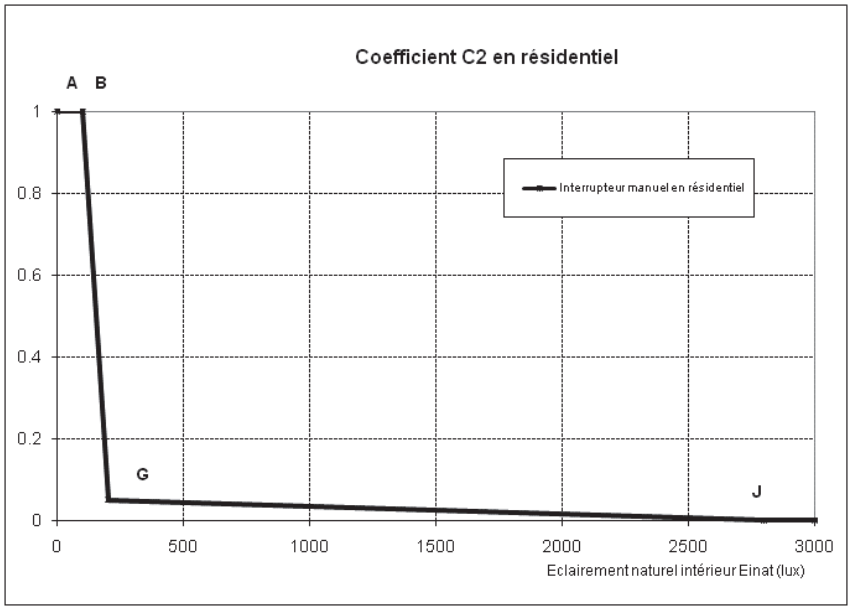


Figure 86 - Courbe donnant les valeurs de C2 selon l'éclairement naturel intérieur en résidentiel

7.1.3.7 *Calcul des apports récupérables dus à l'éclairage*

Les flux émis s'expriment de la manière suivante :

- flux convectif,

$$Fecl_C = C_{rec\_ecl\_conv}\ C_{ECL\_GR}$$

- flux radiatif,

$$Fecl_R = C_{rec\_ecl\_rad}\ C_{ECL\_GR}$$

- flux non émis dans le local

$$Fecl_{NE} = C_{rec\_ecl\_non\_emis}\ C_{ECL\_GR}$$

Conventionnellement :

$C_{rec\_ecl\_conv}$ = 0,5 $C_{rec\_ecl\_rad}$ = 0,5 $C_{rec\_ecl\_non\_emis}$ = 0

Les valeurs de **$Fecl_C$** et de **$Fecl_R$** sont ajoutées respectivement à F_{intc}, flux convectif dû à des sources internes, et à F_{intr}, flux radiatif dû à des sources internes.

7.2 C_ECL_calcul des consommations d'éclairage des parties communes en logement collectif

7.2.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme introduit dans le moteur de calcul réglementaire le calcul de la consommation d'éclairage des circulations (Hall et escalier).

7.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 81 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul de la consommation d'éclairage des locaux communs des logements collectifs.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	conv
$Usage_z$	Type d'usage de la zone n°z issu du module « C_EIN_Scénarios conventionnels » de Th-BCE				
$p^a_{mobi\ (m,s)}$	indicateur de mobilité de la zone par mois / semaine				
$p^s_{mobi\ (j,h)}$	indicateur de mobilité de la zone par jour / heure				
$t^a_{occ\ (m,s)}$	Facteur correctif du taux d'utilisation de l'éclairage des communs de la zone par mois / semaine				
$t^s_{occ\ (j,h)}$	Facteur correctif du taux d'utilisation de l'éclairage des communs de la zone par jour /				
$SREF^{zn}$	Surface de référence la zone du bâtiment issu du module « C_EIN_Scénarios conventionnels » de Th-BCE	m^2	≥0		

Sorties

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$W^z_{ef\_ecl\_parties\_communes}\ (h)$	Consommation électrique horaire de l'éclairage des circulations (hall et escalier) de la zone, en énergie finale.	Wh			
$C^z_{ef\_annuel\_parties\_communes}\ (h)$	Consommation électrique annuelle de l'éclairage des circulations (hall et escalier) de la zone, en énergie finale par m².SREF.	kWh/m².SREF			

Constantes[7]

Nom	Description	Unité	Conv
$P^z_{ef\_ecl\_parties\_commun}$	Puissance surfacique d'éclairage circulations (hall et escalier) de la zone en W/m²	W/m²	2,19

Tableau 81 : Nomenclature du modèle

[7] Constantes (ex: chaleur spécifique de l'eau) et conventions.

7.2.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

7.2.3.1 ***Profil d'utilisation de l'éclairage des locaux communs :***

Le profil d'utilisation de l'éclairage des locaux communs est calqué sur celui de la mobilité des ascenseurs pour les logements collectifs, décrit dans la partie 10.1.

7.2.3.2 ***Définition de la puissance d'éclairage surfacique conventionnelle des circulations :***

La puissance d'éclairage conventionnelle utilisée pour le calcul des consommations est définie à partir de la consommation annuelle. Sa valeur est :

$$P^{z}_{ef\_ecl\_parties\_communes} = 2{,}19\ W/m^2.S_{REF} \qquad (845)$$

7.2.3.3 ***Calcul de la consommation d'éclairage conventionnelle des locaux communs des logements collectifs :***

Cette consommation n'est calculée pour que l'usage logement collectif. La formule ci-dessous tient compte du fait que l'on peut avoir plusieurs zones dans un même bâtiment. De même, on utilise les surfaces habitables des zones pour répartir les consommations dans chaque zone.

Calcul horaire (Wh)

Si *Usage_zone*=2 - logements collectifs,

$$W^{z}_{cef\_ecl\_parties\_communes}(h) = P^{z}_{ef\_circ\_ecl} * p^{a}_{mobi} * p^{s}_{mobi} * SREF^{zn} \qquad (846)$$

Sinon

$$W^{z}_{cef\_ecl\_parties\_communes}(h) = 0 \qquad (847)$$

Calcul annuel (kWhef/m².SREF)

$$C^{z}_{ef\_circ\_ecl\_annuel} = \sum_{h=0}^{8760} \frac{W^{z}_{cef\_ecl\_parties\_communes}(h)}{SREF^{bat}} \qquad (848)$$

8. CHAUFFAGE, REFROIDISSEMENT

8.1 C-Emi-Systèmes Emissions du groupe en chaud et en froid

8.1.1 INTRODUCTION

Cette fiche permet la définition d'**une émission équivalente en chauffage et une émission équivalente en refroidissement, caractérisée par** :

- Ses propriétés physiques : variation spatiale, pertes au dos, température de fonctionnement, parts des phénomènes convectifs et radiatifs dans les échanges avec l'ambiance
- La part de la demande en énergie du groupe assurée par l'émission équivalente pour le chaud et pour le froid,
- Son dispositif de régulation, lui-même défini par une variation temporelle et une mesure de température.
- Ses ventilateurs locaux, définis par une consommation électrique et une énergie transmise à l'ambiance sous forme de chaleur,

A partir de ces émissions équivalentes, on déterminera :

- Les besoins totaux du groupe en énergie,
- Les demandes en énergie de chacun des émetteurs présents dans le groupe,
- Les températures finales du groupe atteintes suite à la transmission de l'énergie au groupe via les émetteurs,

Les étapes de calcul sont les suivantes :

1. Dans un premier temps, on déterminera les propriétés des deux émetteurs équivalents, l'un pour l'émission de chaud, l'autre pour l'émission de froid. On calculera également les consommations des ventilateurs locaux équivalentes pour l'ensemble du groupe,
2. Dans un deuxième temps, il faut déterminer si le système a besoin de chaud, de froid, ou pas de besoins. Pour cela, il faut calculer la température vue par le régulateur de l'émetteur effectif, et la comparer aux températures de consigne.
3. Ensuite, on calcule la relation entre puissance totale de l'émetteur équivalent et température moyenne vue par la sonde (droite du groupe).
4. On interpole à la température de consigne pour obtenir la puissance requise totale pour le groupe.
5. On calcule la puissance requise par émetteur et toutes les températures obtenues à la fin du pas de temps en prenant en compte l'émission.

8.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 82 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Comportement themrique du groupe	$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur d'occupation au temps h	Ent.
	$i_{occ\_zone}(h-1)$	Indicateur d'occupation au temps h-1	Ent.
	$\theta_{i,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne de l'air à puissance nulle	°C
	$\theta_{i,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne de l'air pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
	$\theta_{i,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne de l'air pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{s,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne secondaire du groupe à puissance nulle	°C
	$\theta_{s,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne secondaire pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
	$\theta_{s,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne secondaire pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{m,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne de masse à puissance nulle	°C
	$\theta_{m,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne de masse pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
	$\theta_{m,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne de masse pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{rm,moy(0;0)}(h)$	Température radiante moyenne à puissance nulle	°C
	$\theta_{rm,moy(10;0)}(h)$	Température radiante moyenne pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
	$\theta_{rm,moy(0;10)}(h)$	Température radiante moyenne pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
	$\theta_{op,moy(0;0)}(h)$	Température opérative moyenne ressentie à puissance nulle	°C
	$\theta_{op,moy(10;0)}(h)$	Température opérative moyenne une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
	$\theta_{op,moy(0;10)}(h)$	Température opérative moyenne ressentie pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C

	$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h.	Ent.
Relance	$\theta_{iich\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de chauffage définie par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
	$\theta_{iifr\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement définie par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
Environnement intérieur	$\theta_{iich}(h)$	Température de consigne initiale de chauffage au pas de temps h.	°C
	$\theta_{iifr}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement au pas de temps h	°C
C_Ein_Determination des saisons	$Aut_{ch,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de chauffage. *1 : le groupe est en saison de chauffage.*	Ent.
	$Aut_{fr,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de refroidissement. *1 : le groupe est en saison de refroidissement.*	Ent.
Déshum. (après croisement)	$Q_{sys\_lat}^{em}(h)$	Energie latente fournie par l'émetteur *em* au pas de temps h.	Wh
	$Q_{sys\_lat}(h)$	Energie latente fournie par l'ensemble des émetteurs au pas de temps h.	Wh
Brasseur	$\delta\theta_{consfr}^{BA}(h)$	Impact sur la température de consigne dû aux brasseurs d'air	°C

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Propriétés de l'émetteur	$id_{em\_chaud}^{em}$	Booléen indiquant si l'émetteur *em* a une fonction de chauffage.	Bool	0	1	-
	$id_{em\_froid}^{em}$	Booléen indiquant si l'émetteur *em* a une fonction de refroidissement (un émetteur peut avoir les deux fonctions).	Bool	0	1	-
	$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$	Variation spatiale en mode chauffage.	°C	-∞	+∞	
	$\delta\theta_{vs\_fr}^{em}$	Variation spatiale en mode refroidissement.	°C	-∞	+∞	
	$P_{emconv\_ch}^{em}$	Ratio d'énergie convective sur l'énergie totale transmise pour le chaud.	-	0	1	-
	$P_{emconv\_fr}^{em}$	Ratio d'énergie convective sur l'énergie totale transmise pour le froid.	-	0	1	-

Paramètres des émetteurs à recyclage d'air	P_{per}^{em}	Ratio de pertes au dos de l'émetteur sur l'énergie émise.	-	0	1	
	$Gest_{VCV}^{em}$	Mode de gestion/régulation des ventilateurs locaux de l'émetteur : *0 : Pas de ventilateur.* *1 : Régulation manuelle uniquement,* *2 : Régulation automatique nécessitant un fonctionnement permanent des ventilateurs,* *3 : Régulation automatique permettant un arrêt total des ventilateurs lorsque la température de consigne est atteinte.*	Ent.	0	3	-
	i_{spv}^{em}	Présence d'un régime de super petite vitesse automatique sur le ventilo-convecteur.	Bool	faux	vrai	-
	$P_{VCV\_GV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de grande vitesse.	W	0	+∞	-
	$P_{VCV\_MV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de moyenne vitesse.	W	0	+∞	-
	$P_{VCV\_PV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de petite vitesse.	W	0	+∞	-
	$P_{VCV\_SPV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de super petite vitesse.	W	0	+∞	-
	$Seuil_{VCV\_pvmv\_ch}^{em}$	Seuil de besoins de chauffage à partir duquel le ventilo-convecteur fonctionne en régime de moyenne vitesse.	Wh/m²	0	+∞	20
	$Seuil_{VCV\_pvmv\_fr}^{em}$	Seuil de besoins de froid à partir duquel le ventilo-convecteur fonctionne en régime de moyenne vitesse.	Wh/m²	-∞	0	-20
	id_{regul_batt}	Type de régulation de la batterie de refroidissement : *0- Batterie à débit d'eau régulé de façon progressive* *1- Autre cas (température de batterie constante)*	-	0	1	-
	$Q_{v\_recirc\_GV}^{em}$	Débit de recirculation en grande vitesse, exprimé en m3/h.	m³/h	0	+∞	-
	$Q_{v\_recirc\_MV}^{em}$	Débit de recirculation en moyenne vitesse, exprimé en m3/h.	m³/h	0	+∞	-
	$Q_{v\_recirc\_PV}^{em}$	Débit de recirculation en petite vitesse, exprimé en m3/h.	m³/h	0	+∞	-

Propriétés du dispositif de régulation	$\theta_{batt\_dim}^{em}$	Température de dimensionnement de la batterie froide de l'émetteur.	°C	0	25	
	FB_{batt}^{em}	Facteur de by-pass de la batterie pour une batterie à débit d'eau régulé de façon progressive (conventionnel).	Réel	0	1	0.8
	$\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$	Variation temporelle en mode chauffage.	°C	0.2	+∞	
	$\delta\theta_{vt\_fr}^{em}$	Variation temporelle en mode refroidissement.	°C	-∞	-0.4	
	$Id_{detection\_presence}^{em}$	Booléen indiquant si l'émetteur *em* dispose d'une détection de présence pièce par pièce 1 : tous les émetteurs présents dans la pièce desservie par l'émetteur *em* sont régulés selon la présence dans la pièce 0 : Autres cas	Bool	0	1	
	$\delta\theta_{presence\_ch}^{em}$	Variation de la température en mode chauffage pour prendre en compte l'impact de la régulation par détection de présence par pièce	°C	-∞	+∞	-0.15
	$P_{sd\_ch}^{em}$	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur de l'émetteur pour le chaud. *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	Réel	0	1	0.5
	$P_{sd\_fr}^{em}$	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur de l'émetteur pour le froid. *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	Réel	0	1	0.5

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Emetteur	$Rat_{s\_ch}^{em}$	Ratio de la surface utile traitée par l'émetteur à la surface utile totale du groupe en chaud.	-	0	1	

Groupe	$Rat_{s\_fr}^{em}$	Ratio de la surface utile traitée par l'émetteur à la surface utile totale du groupe en froid.	-	0	1	
	$Rat_{t\_ch}^{em}$	Part assurée par l'émetteur dans l'énergie de chaud totale fournie à la surface utile traitée.	-	0	1	
	$Rat_{t\_fr}^{em}$	Part assurée par l'émetteur dans l'énergie de froid totale fournie à la surface utile traitée.	-	0	1	
	i_{clim}	Booléen indiquant si le groupe est refroidi.	Bool	0	1	-
	A_{gr}	Surface utile du groupe.	m²	0	+∞	-
Distribution de froid du groupe	id_{type}	Type de réseau de distribution du groupe : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique.*	Ent.	0	1	-
	id_{gest_fr}	Mode de régulation de la température de la distribution du groupe associée à l'émetteur.	Ent	1	3	-
	$\theta_{dep\_dim\_fr}$	Température de départ de dimensionnement (si le réseau fonctionne à température de départ constante).	°C	-∞	+∞	-
	$\theta_{ret\_dim\_fr}$	Température de retour de dimensionnement (pour le mode à température de retour constante).	°C	-∞	+∞	-
	$\Delta\theta_{em\_dim\_fr}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement en froid.	°C	-∞	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Sorties par émetteur	$Rat_{eff\_ch}^{em}$	Part de l'énergie fournie au groupe effective assurée par l'émetteur en chauffage.	Ent
	$Rat_{eff\_fr}^{em}$	Part de l'énergie fournie au groupe effective assurée par l'émetteur en refroidissement.	Ent
	$Q_{sys\_fr}^{em}(h)$	Demande en énergie de chauffage transmise par l'émission à son réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
	$Q_{sys\_ch}^{em}(h)$	Demande en énergie de refroidissement transmise par l'émission *em* à son réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh

Déshum.	$Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h)$	Débit massique de recirculation effectif sur la batterie froide de l'émetteur *em*.	kg/s
	$\omega_{sat}^{em}(h)$	Humidité spécifique à saturation pour la température de batterie $\theta_{batt.}$	kg/kg as
Sorties au niveau du groupe	$\theta_{sd,fin}\ (h)$	Température vue par la sonde effective à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{i,fin}\ (h)$	Température de l'air à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{m,fin}\ (h)$	Température de masse à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{s,fin}\ (h)$	Température opérative du groupe à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{op,fin}\ (h)$	Température ressentie par l'occupant à la fin du pas de temps	°C
	$\theta_{sd,moy}(h)$	Température vue par la sonde effective moyenne sur le pas de temps	°C
	$\theta_{i,moy}(h)$	Température moyenne de l'air sur le pas de temps	°C
	$\theta_{m,moy}(h$	Température de masse moyenne sur le pas de temps	°C
	$\theta_{s,moy}(h)$	Température opérative moyenne du groupe sur le pas de temps	°C
	$\theta_{op,moy}\ (h)$	Température ressentie par l'occupant moyenne sur le pas de temps	°C
	$\Phi_{crois\_ch}(h)$	Puissance de chauffage nécessaire issue du croisement.	W
	$\Phi_{crois\_fr}(h)$	Puissance de refroidissement nécessaire issue du croisement.	W
	$id_{bch}(h)$	Indicateur de besoins de chaud non-nuls au pas de temps h.	Bool
	$id_{bfr}(h)$	Indicateur de besoins de froid non-nuls au pas de temps h.	Bool
	$Q_{sys\_ch}(h)$	Energie requise pour le chauffage totale du groupe.	Wh
	$Q_{sys\_fr}(h)$	Energie requise pour le refroidissement totale du groupe.	Wh
Ventilateurs locaux	$W_{vent\_loc\_tot}(h)$	Consommation électrique totale des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe.	Wh

$\Phi_{vent\_loc\_vc}(h)$	Energie consommée par les ventilateurs locaux de l'ensemble des émetteurs du groupe et transmise à l'ambiance sous forme de chaleur.	Wh

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Emetteur équivalent de chaud	$Rat_{em\_eq\_ch}$	Part de l'énergie fournie au groupe assurée par l'émission en chaud.	-
	$\delta\theta_{vt\_ch}$	Variation temporelle de l'émetteur équivalent de chaud.	°C
	$\delta\theta_{vs\_ch}$	Variation spatiale de l'émetteur équivalent de chaud.	°C
	$P_{emconv\_eq\_ch}$	Ratio d'énergie convective de l'émetteur équivalent de chaud	-
	P_{sd_ch}	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur associé à l'émetteur équivalent de chaud. *Valeurs extrêmes : 0 : mesure sur la température radiante, 1 : mesure sur la température de l'air.*	-
	$\theta_{i\_eq\_ch}(h)$	Température de consigne équivalente en chauffage.	°C
	$\theta_{sd\_eq\_ch}(h)$	Température vue par la sonde de l'émetteur équivalent de chaud au début du pas de temps	°C
Emetteur équivalent de froid	$Rat_{em\_eq\_fr}$	Part de l'énergie fournie au groupe assurée par l'émetteur équivalent en froid.	-
	$\delta\theta_{vt\_fr}$	Variation temporelle de l'émetteur équivalent de froid.	°C
	$\delta\theta_{vs\_fr}$	Variation spatiale de l'émetteur équivalent de froid.	°C
	$P_{emconv\_eq\_fr}$	Ratio d'énergie convective de l'émetteur équivalent de froid	-
	$P_{sd\_eq\_fr}$	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur associé à l'émetteur équivalent de froid. *Valeurs extrêmes : 0 : mesure sur la température radiante, 1 : mesure sur la température de l'air.*	-
	$\theta_{i\_eq\_fr}(h)$	Température de consigne équivalente en refroidissement	°C
	$\theta_{sd\_eq\_fr}(h)$	Température vue par la sonde de l'émetteur équivalent de froid au début du pas de temps.	°C

Emetteur équivalent sollicité	P_{emconv}	Ratio d'énergie convective de l'émetteur équivalent sollicité (soit le chaud, soit le froid).	-
	P_{sd}	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur associé à l'émetteur équivalent sollicité (soit celui de chaud, soit celui de froid). *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	-
	$\theta_{sd\_0}(h)$	Température vue par la sonde associée au régulateur de l'émetteur équivalent sollicité (soit le chaud, soit le froid), en fin de temps et à puissance émise nulle.	°C
	$\theta_{sd\_10}(h)$	Température vue par la sonde associée au régulateur de l'émetteur équivalent sollicité (soit le chaud, soit le froid), en fin de temps et à puissance émise de 10 kW.	°C
	$\theta_{ic}(h)$	Température de consigne équivalente (soit de chaud, soit de froid).	°C
Ventilateurs locaux	$W_{vent\_loc}^{em}(h)$	Consommation électrique des ventilateurs locaux de l'émetteur em.	Wh
	$\Phi_{vent\_loc\_amb}^{em}(h)$	Energie transmise à l'ambiance par les ventilateurs sous forme de chaleur.	Wh
	$Q_{v\_recirc}^{em}(h)$	Débit volumique de recirculation des ventilateurs locaux de l'émetteur *em*.	m^3/h
	$Q_{m\_recirc}^{em}(h)$	Débit massique de recirculation des ventilateurs locaux de l'émetteur *em*.	kg/s
	$\theta_{batt}^{em}(h)$	Température de batterie froide de l'émetteur pour le calcul de la déshumidification.	°C
Droite du groupe	a_0	Ordonnée à l'origine de la droite du groupe	W
	a_1	Pente de la droite du groupe	W/°C
	$\Phi_{util}(h)$	Puissance moyenne utile appelée par le groupe	W
	$\Phi_{crois}(h)$	Puissance nécessaire issue du croisement	W

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
Ca	Chaleur massique de l'air sec.	J/kgK	1006

Tableau 82 : Nomenclature du modèle

8.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.1.3.1 ***Caractérisation des émetteurs***

8.1.3.1.1 Emission conventionnelle en calcul de BBio

Pour le calcul du coefficient BBio, on adopte une émission équivalente conventionnelle pour chaque groupe, avec les caractéristiques suivantes :

- Un seul composant émetteur de chauffage par groupe,
- Un seul composant émetteur de refroidissement par groupe refroidi ($i_{clim}^{gr} = 1$),
- Variation spatiale (en chauffage : $\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$ et en refroidissement : $\delta\theta_{vs\_fr}^{em}$) : 0 K,
- Variation temporelle (en chauffage $\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$ et en refroidissement $\delta\theta_{vt\_fr}^{em}$) : 0 K,
- Part convective de transmission de l'énergie au groupe (en chauffage : P_{emconv_ch} et en refroidissement : P_{emconv_fr}) : 0.5,
- Pertes au dos (P_{per}^{em}) : 0,
- Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur de l'émetteur (en chauffage : $P_{sd\_ch}^{em}$, en refroidissement : $P_{sd\_fr}^{em}$) : 0.5,
- Pas de ventilateurs locaux.

8.1.3.1.2 Variations spatiales associées à l'émetteur en chauffage

Pour le calcul de consommations (Th-C), L'émetteur est caractérisé par une variation spatiale en chauffage $\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$ et une en refroidissement, dépendant de la classe de l'émetteur utilisé et de la hauteur sous plafond du local desservi.

La méthode de calcul ThC offre deux possibilités de définition de ce paramètre :

- le choix d'une classe A, B (déclinée en B1, B2 et B3) ou C pour le chauffage,
- la définition directe d'une valeur de variation spatiale à appliquer en fonction de chauffage, dans le cas où celle-ci peut être justifiée.

Les catégories d'émetteurs de chaud concernées par les différentes classes sont les suivantes :

- **Classe A** : plancher chauffant,
- **Classe B1** : émetteurs à forte induction : diffuseurs à jet vertical descendant, buses, diffuseurs tourbillonnaires, à géométrie variable, etc…
- **Classe B2** : diffusion d'air, poutres climatiques, ventilo-convecteurs,
- **Classe B3** : émetteurs rayonnants (autres que plancher), plafond chauffant.
- **Classe C** : autres cas.

$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$	Locaux de moins de 4 mètres sous plafond	Locaux de 4 à moins de 6 mètres sous plafond	Locaux de 6 à moins de 8 mètres sous plafond	Locaux de plus de 8 mètres sous plafond
Classe A	0	0	0	0
Classe B1	0	0	0.5	1.0
Classe B2	0	0.6	1.7	2.8
Classe B3	0.2	0.8	1.2	1.6
Classe C	0.4	1.2	2.0	2.8

Tableau 83 : Valeurs de variation spatiale en chauffage en fonction des paramètres impliqués

Dans le cas particulier des poêles et inserts, les valeurs par défaut suivantes sont fixées :

$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$	
Appareil desservant 1 seul niveau	*Appareil desservant 2 niveaux*
0.9	1,4

Tableau 84 : Valeurs de variation spatiale en chauffage pour les poêles et inserts

8.1.3.1.3 Variations spatiales associées à l'émetteur en refroidissement

L'émetteur est caractérisé par une variation spatiale en refroidissement $\delta\theta_{vs\_fr}^{em}$, dépendant de la classe de l'émetteur utilisé et de la hauteur sous plafond du local desservi.

La méthode de calcul ThC offre deux possibilités de définition de ce paramètre :

- le choix d'une classe A, B ou C pour le refroidissement,
- la définition directe d'une valeur de variation spatiale à appliquer en fonction de refroidissement, dans le cas où celle-ci peut être justifiée.

Les émetteurs de froid concernés par les différentes classes sont les suivants :

- **Classe A** : plancher froid, système à déplacement d'air,
- **Classe B** : diffusion d'air, émetteur avec brassage de l'air ambiant, poutres climatiques,
- **Classe C** : plafond rafraîchissant, autres cas.

$\delta\theta_{vs\_fr}^{em}$	Locaux de moins de 4 mètres sous plafond	Locaux de 4 à moins de 6 mètres sous plafond	Locaux de 6 à moins de 8 mètres sous plafond	Locaux de plus de 8 mètres sous plafond
Classe A	0	0.4	0.8	1.2
Classe B	0	0.2	0.4	0.6
Classe C	0	0	0	0

Tableau 85 : Valeurs de variation spatiale en refroidissement en fonction des paramètres impliqués

8.1.3.1.4 Parts convectives de transmission de l'énergie au groupe

Un émetteur transmet l'énergie pour le chaud et/ou pour le froid au travers d'échanges à la fois radiatifs et convectifs. Selon le profil de l'émetteur, les parts des phénomènes radiatifs ($1-P_{em}$) et convectifs (P_{em}) dans les échanges seront différentes. L'une peut se déduire de l'autre car leur somme est égale à l'unité. On définit un P_{em} en chaud et un P_{em} en froid.

Description de l'émetteur	P_{emconv_ch}
Pas d'émetteur de chaud.	0
Soufflage d'air chaud (convecteurs, ventilo-convecteurs, aérothermes…).	0.95
Emetteurs muraux rayonnants (panneaux rayonnants, radiateur à eau chaude…).	*0.70*
Planchers chauffants, tubes rayonnants gaz basse température, panneau radiant lumineux gaz, inserts, poêles à bois (autre que accumulation).	*0.50*
Murs chauffants, panneaux rayonnants de plafonds, cassette rayonnante basse ou moyenne température, poêles à accumulation.	*0.35*
Plafond chauffant, radiant électrique infrarouge moyen ou infrarouge court	*0.20*

Tableau 86 : Parts convectives en chauffage P_{emconv_ch} en fonction de la typologie d'émetteur

Description de l'émetteur	P_{emconv_fr}
Soufflage d'air froid (ventilo-convecteurs…)	0.95
Poutre froide	*0.80*
Plafond rafraîchissant, panneaux rafraîchissant de plafond	*0.50*
Mur rafraîchissant	*0.35*
Plancher rafraîchissant	*0.20*

Tableau 87 : Parts convectives en refroidissement Pemconv_fr en fonction de la typologie d'émetteur

8.1.3.1.5 Pertes d'énergie au dos de l'émetteur

Pour les émetteurs intégrés aux parois donnant sur l'extérieur ou un espace non-chauffé, les pertes d'énergie dues à l'émission partielle de la chaleur (ou du froid) vers l'espace non chauffé adjacent doivent être comptabilisées. On les qualifie de pertes au dos, et elles sont caractérisées par P_{per}, part perdue de la quantité d'énergie (chaud ou froid) fournie au groupe par l'émetteur, exprimée en pourcentage.

Ces pertes se calculent à l'aide de la formule suivante :

Plancher donnant sur l'extérieur, un vide sanitaire, le sol ou un local non chauffé :

$$P_{per} = Ri \,.\, Ue \qquad (849)$$

Avec :

- Ri : résistance thermique de la paroi extérieure entre le plancher chauffant et l'intérieur incluant la résistance superficielle intérieure Rsi (m².K/W)
- Ue : coefficient de transmission thermique équivalent du plancher (W/m².K)

8.1.3.1.6 Variations temporelles associées à l'émetteur

L'émetteur est caractérisé par une variation temporelle en chauffage $\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$ et une en refroidissement $\delta\theta_{vt\_fr}^{em}$, fonction de la précision de la régulation terminale du couple régulateur/émetteur à l'échelle du local.

La méthode de calcul offre quatre alternatives dans la définition de ces valeurs :

- La saisie directe d'une valeur certifiée, notamment pour les robinets thermostatiques, les régulations d'ambiance et les thermostats intégrés.

  Par ailleurs, pour les émetteurs de type effet joule, la valeur saisie ne peut être inférieure à 0,2K, et à 0,4K pour les autres types d'émetteur de chauffage. Elle ne peut être supérieure à (-0,4K) pour les émetteurs de refroidissement.

- La saisie de la valeur justifiée, augmentée de +0.5K en mode chaud ou de (-0.5K) en mode froid, par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes harmonisées.

  Note : en froid, le paramètre de la méthode $\delta\theta_{vt\_fr}^{em}$ est définie négativement. Il convient donc de retenir l'opposé de la valeur justifiée ou certifiée, si celle-ci est définie positivement.

- A défaut de valeur certifiée, les valeurs par défaut suivantes sont retenues :

$\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$	Valeur de la variation temporelle en chauffage
Couple régulateur/émetteur ne permettant pas un arrêt total de l'émission	2.0
Couple régulateur/émetteur permettant un arrêt total de l'émission	1.8
$\delta\theta_{fr}^{vt\_em}$	Valeur de la variation temporelle en froid
Couple régulateur/émetteur ne permettant pas un arrêt total de l'émission	-2.0
Couple régulateur/émetteur permettant un arrêt total de l'émission	-1.8

Tableau 88 : Valeurs par défaut de variations temporelles en chauffage et en refroidissement

- Pour les poêles et inserts uniquement, les valeurs de variations temporelles retenues sont conventionnelles, en fonction du mode de régulation :

Type de régulation	Tout type de locaux
Avec thermostat d'ambiance	2
Régulation manuelle	2,5

Tableau 89: Valeurs conventionnelles de variations temporelles dans le cas de poêles et inserts

8.1.3.1.7 Température perçue par le dispositif de régulation de l'émetteur

La finalité du dispositif de régulation de l'émetteur est de mesurer la température intérieure du local et d'adapter en fonction d'une température de consigne l'énergie à fournir.

La température intérieure perçue par ce dispositif est une moyenne pondérée de la température de l'air intérieur et de la température radiante dans le groupe, le coefficient de pondération pour la température d'air étant noté P_{sd} (chauffage : $P_{sd\_ch}^{em}$ *et* refroidissement: $P_{sd\_fr}^{em}$).

La valeur conventionnellement retenue est de 0.5, quelques soient les configurations de régulateurs.

8.1.3.1.8 Rat^{em} en chaud et en froid

Chaque groupe possède un émetteur équivalent de chaud et de froid. Un émetteur équivalent est décrit par les mêmes caractéristiques qu'un émetteur, à l'exception des pertes au dos et des puissances de ventilateurs locaux.

La contribution de chaque émetteur est définie par son Rat_{ch}^{em} et son Rat_{fr}^{em} Ces ratios sont obtenus à partir :

- de Rat_s, ratio de la surface utile du local (ou des locaux) desservi(s) par l'émetteur sur la surface utile totale du groupe,

- de Rat_t, ratio de répartition des besoins entre plusieurs émetteurs desservant un même local (ou des mêmes locaux).

$$Rat_{ch}^{em} = Rat_{s\_ch}^{em} \times Rat_{t\_ch}^{em} \quad (850)$$

$$Rat_{fr}^{em} = Rat_{s\_fr}^{em} \times Rat_{t\_fr}^{em}$$

8.1.3.2 *Calcul des émetteurs équivalents*

Pour définir correctement l'émetteur équivalent, on a donc besoin de définir la contribution effective de chaque émetteur à l'émetteur équivalent par l'intermédiaire des Rat_{eff}^{em} pour chaque émetteur. La somme des Rat_{em} doit toujours être plus petite ou égale à 1. Si cette somme est nulle, alors le Rat_{eff}^{em} correspondant est nul aussi.

$$\begin{aligned} Rat_{eff\_ch}^{em} &= \frac{Rat_{ch}^{em}}{\sum_{em} Rat_{ch}^{em}}, \\ Rat_{eff\_fr}^{em} &= \frac{Rat_{fr}^{em}}{\sum_{em} Rat_{fr}^{em}}. \end{aligned} \quad (851)$$

On détermine les caractéristiques des deux systèmes équivalents comme suit :

Emetteur de chaud équivalent : *Emetteur de froid équivalent* :

$$\begin{aligned} Rat_{em\_eq\_ch} &= \sum_{em} Rat_{ch}^{em} & Rat_{em\_eq\_fr} &= \sum_{em} Rat_{fr}^{em} \\ P_{sd\_eq\_ch} &= \sum_{em} Rat_{ch\_eff}^{em} \times P_{sd\_ch}^{em} & P_{sd\_eq\_fr} &= \sum_{em} Rat_{fr\_eff}^{em} \times P_{sd\_fr}^{em} \\ P_{em\_eq\_ch} &= \sum_{em} Rat_{ch\_eff}^{em} \times P_{em\_ch}^{em} & P_{em\_eq\_fr} &= \sum_{em} Rat_{fr\_eff}^{em} \times P_{em\_fr}^{em} \\ \delta\theta_{vt\_eq\_ch} &= \sum_{em} Rat_{ch\_eff}^{em} \times \delta\theta_{vt\_ch}^{em} & \delta\theta_{vt\_eq\_fr} &= \sum_{em} Rat_{fr\_eff}^{em} \times \delta\theta_{vt\_fr}^{em} \\ \delta\theta_{vs\_eq\_ch} &= \sum_{em} Rat_{ch\_eff}^{em} \times \delta\theta_{vs\_ch}^{em} & \delta\theta_{vs\_eq\_fr} &= \sum_{em} Rat_{fr\_eff}^{em} \times \delta\theta_{vs\_fr}^{em} \end{aligned} \quad (852)$$

On détermine l'effet de la détection de présence pièce par pièce comme suit :

$$\delta\theta_{presence\_eq\_ch} = \sum_{em} Rat_{ch\_eff}^{em} \times \delta\theta_{presence\_ch}^{em} \times Id_{detection\_presence}^{em} \quad (853)$$

Est considéré comme un système de détection de présence pièce par pièce tout système permettant, dans chaque local desservi par une installation de chauffage, de mettre automatiquement le chauffage du seul local en mode occupation en cas de présence humaine dans le local (et uniquement dans ce cas), et de le mettre en mode réduit dans tous les autres cas. La mise en mode réduit du chauffage du local doit se faire au plus tard 15 minutes après que la dernière personne ait quitté le local.

Par convention, un interrupteur à chaque entrée de chaque local desservi par une installation de chauffage, qui permet, dans cette seule pièce, de déclencher et de couper le chauffage ou de modifier son mode de régulation,est considéré comme un système de détection de présence pièce par pièce.

8.1.3.3 *Détermination du besoin*

8.1.3.3.1 Calculs préliminaires

On détermine si le groupe a besoin de chaud, de froid, ou rien. On commence par calculer les températures de consignes corrigées des variations :

$$\begin{aligned}\theta_{i\_eq\_ch}(h) &= MAX\left(\theta_{iich}(h);\theta_{iich_{relance}}(h)\right)+\delta\theta_{vs\_eq\_ch}+\delta\theta_{vt\_eq\_ch}+\delta\theta_{presence\_eq\_ch},\\ \theta_{i\_eq\_fr}(h) &= MIN\left(\theta_{iifr}(h);\theta_{iifr_{relance}}(h)\right)+\delta\theta_{vs\_eq\_fr}+\delta\theta_{vt\_eq\_fr}\end{aligned} \quad (854)$$

En présence de brasseurs d'air au niveau du groupe considéré, la variable $\delta\theta_{consfr}{}^{BA}(h)$ est calculée à chaque pas de temps dans la fiche C_BAT_Fonctionnement/gestion/régulation des brasseurs d'air. Dans le cas contraire cette valeur est nulle.

On détermine ensuite les températures perçues par les régulateurs fictifs des deux émetteurs équivalents. Elles sont reliées aux températures de l'air et à la température radiante moyenne via les coefficients P_{sd} .

$$\begin{aligned}\theta_{sd\_eq\_ch}(h) &= P_{sd\_eq\_ch}\cdot\theta_{i,moy_{(0,0)}}(h)+\left(1-P_{sd\_eq\_ch}\right)\cdot\theta_{rm,moy_{(0,0)}}(h)\\ \theta_{sd\_eq\_fr}(h) &= P_{sd\_eq\_fr}\cdot\theta_{i,moy_{(0,0)}}(h)+\left(1-P_{sd\_eq\_fr}\right)\cdot\theta_{rm,moy_{(0,0)}}(h)\end{aligned} \quad (855)$$

8.1.3.3.2 Détermination des propriétés de l'émetteur équivalent sollicité

A un pas de temps donné, on considère conventionnellement qu'un seul des deux émetteurs équivalent peut être sollicité (un groupe ne peut être refroidi et chauffé au même pas de temps).

Si $\theta_{sd\_eq\_fr}(h) > \theta_{i\_eq\_fr}(h)$, alors l'émetteur équivalent sollicité est celui de froid.

Si $\theta_{sd\_eq\_ch}(h) < \theta_{i\_eq\_ch}(h)$, alors l'émetteur équivalent sollicité est celui de chaud.

Dans le cas où ces deux conditions seraient vérifiées, on considère alors que la demande en chauffage est prioritaire sur la demande de froid.

Si les deux comparaisons sont fausses, alors aucune des deux émissions n'est sollicitée.

Si $\theta_{sd\_eq\_ch}(h) < \theta_{i\_eq\_ch}(h)$,

$$P_{sd} = P_{sd\_eq\_ch}$$
$$P_{em} = P_{em\_eq\_ch}$$
$$\theta_{ic} = \theta_{ich}$$

Sinon,

Si $\theta_{sd\_eq\_fr}(h) > \theta_{i\_eq\_fr}(h)$, (856)

$$P_{sd} = P_{sd\_eq\_fr}$$
$$P_{em} = P_{em\_eq\_fr}$$
$$\theta_{ic} = \theta_{ifr}$$

Si aucun système n'est mis en fonctionnement, les températures finales du groupe sont simplement les températures finales en l'absence d'émission issue de la matrice du groupe.

8.1.3.4 *Droite du groupe*

La droite du groupe est définie par la relation linéaire qui existe entre la puissance totale du système et la température moyenne vue par la sonde

$$\phi_{crois} = a_0 + a_1\theta_{sd}. \quad (857)$$

Celle-ci dépend du type d'émetteur équivalent mis en marche, froid ou chaud. Pour déterminer les coefficients de la droite, il faut commencer par calculer les températures moyennes de l'air et radiante moyenne à partir de la matrice du groupe dans le cas où les puissances sont nulles, et dans le cas où $\phi_{conv} = P_{emconv} \times 10 \times A_{gr}$ et $\phi_{rad} = (1 - P_{emconv}) \times 10 \times A_{gr}$. (P_{emconv} dépendant du système considéré). Celles-ci valent :

$$\begin{aligned}
\theta_{i,moy_0}(h) &= \theta_{i,moy_{(0,0)}}(h), \\
\theta_{rm,moy_0}(h) &= \theta_{rm,moy_{(0,0)}}(h), \\
\theta_{i,moy_10}(h) &= P_{em} \cdot \theta_{i,moy_{(10,0)}}(h) + (1 - P_{em}) \cdot \theta_{i,moy_{(0,10)}}(h), \\
\theta_{rm,moy_10}(h) &= P_{em} \cdot \theta_{rm,moy_{(10,0)}}(h) + (1 - P_{em}) \cdot \theta_{rm,moy_{0,10)}}(h),
\end{aligned} \quad (858)$$

Les températures correspondantes perçues par la sonde sont :

$$\begin{aligned}
\theta_{sd_0}(h) &= P_{sd}\theta_{i,moy_0}(h) + (1 - P_{sd})\theta_{rm,moy_0}(h), \\
\theta_{sd_10}(h) &= P_{sd}\theta_{i,moy_10}(h) + (1 - P_{sd})\theta_{rm,moy_10}(h).
\end{aligned} \quad (859)$$

Les coefficients a_0 et a_1 sont calculés par :

$$\begin{cases}
a_0(h) &= -\dfrac{10}{\theta_{sd_10}(h) - \theta_{sd_0}(h)} \cdot \theta_{sd_0}(h), \\
a_1(h) &= \dfrac{10}{\theta_{sd_10}(h) - \theta_{sd_0}(h)}.
\end{cases} \quad (860)$$

La Figure 87 montre un exemple de droite du groupe :

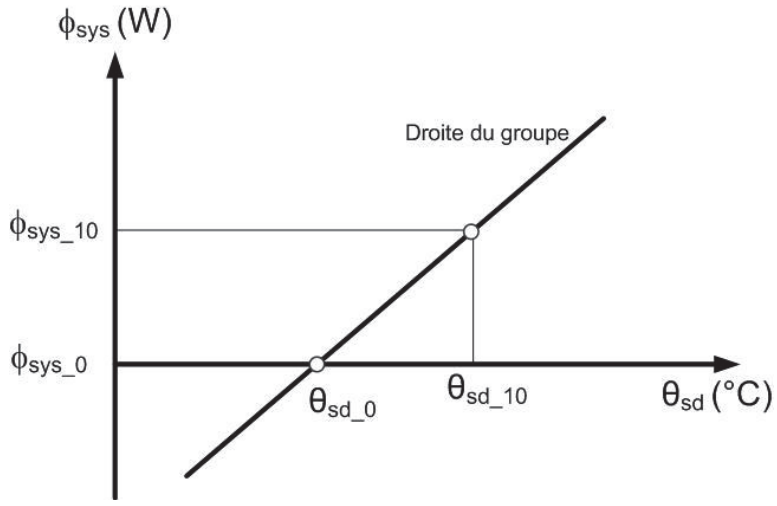


Figure 87 : Droite de comportement thermique d'un groupe

8.1.3.5 *Calcul de la puissance totale requise par le groupe*

Pour le calcul de la puissance totale requise, on considère que les émetteurs équivalents sont aptes à fournir une puissance infinie. La courbe de fonctionnement est donc une droite verticale $\theta_{sd} = \theta_{ic}$. La puissance requise ϕ_{crois} par le groupe est calculée par croisement entre cette courbe de fonctionnement et la droite du groupe.

Si i_{clim} = *Vrai* alors,

$$\phi_{crois}(h) = a_0(h) + a_1(h) \cdot \theta_{ic}(h) \quad (861)$$

Sinon,

$$\phi_{crois}(h) = max(a_0(h) + a_1(h) \cdot \theta_{ic}(h), 0)$$

La Figure 88 illustre les calculs effectués dans l'équation

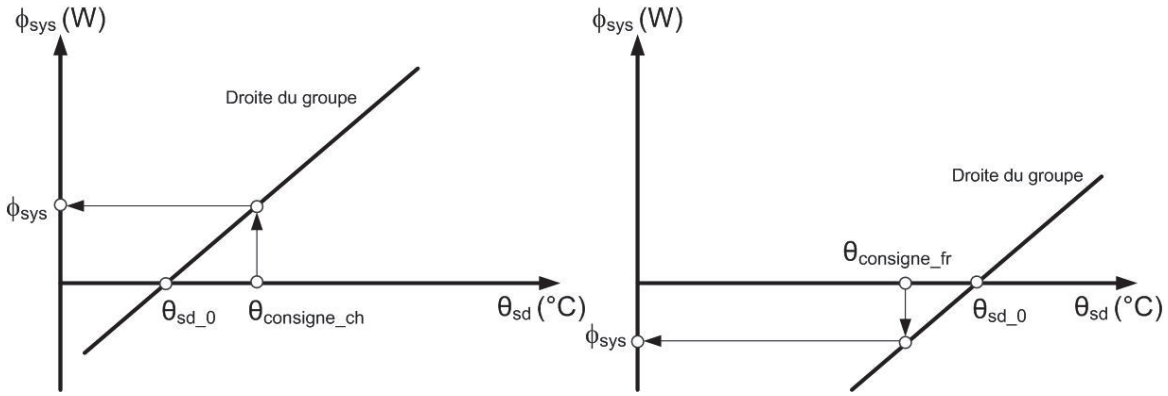


Figure 88 : Intersection avec la droite du groupe

Il est également nécessaire de calculer les puissances de croisement pour chacun des émetteurs équivalents :

$$\begin{cases} \phi_{crois\_ch}(h) = max(0, \phi_{crois}(h)) \\ \phi_{crois\_fr}(h) = min(0, \phi_{crois}(h)) \end{cases} \quad (862)$$

8.1.3.6 *Impact des saisons de fonctionnement*

La demande d'énergie déterminée par croisement n'est effective que si le groupe se trouve en période où l'usage des systèmes est autorisé.

Dans le cas d'une puissance requise de chauffage, cette dernière ne sera donc effective que si Saison(j) = 3 (saison de chauffage) ou 4 (saison mixte de chauffage et de refroidissement).

Dans le cas d'une puissance requise de refroidissement, cette dernière ne sera donc effective que si Saison(j) = 1 (saison de refroidissement) ou 4 (saison mixte de chauffage et de refroidissement).

En calculs du BBio, les données relatives aux saisons de fonctionnement sont celles propres du groupe (voir fiche ***C_Ei_Détermination des saisons***).

En calculs des consommations, les données relatives aux saisons de fonctionnement sont les données effectives, issus d'une procédure commune à l'ensemble des groupes desservis par la

même génération (voir la fiche ***C_Gen_Détermination des saisons de fonctionnement des systèmes***).

Si $(\theta_{sd,fr} > \theta_{ifr}$ et $Aut_{fr,eff}(j) = 1)$ ou si $(\theta_{sd,ch} < \theta_{ich}$ et $Aut_{ch,eff}(j) = 1)$,
alors,

$\phi_{util}(h) = \phi_{crois}(h)$

Si $\phi_{crois}(h) \neq 0$, alors,

$$\begin{cases} id_{bch}(h) = \frac{\phi_{crois\_ch}(h)}{\phi_{crois}(h)} \\ id_{bfr}(h) = \frac{\phi_{crois\_fr}(h)}{\phi_{crois}(h)} \end{cases} \quad (863)$$

Sinon,

$$\begin{cases} id_{bch}(h) = 0 \\ id_{bfr}(h) = 0 \end{cases}$$

Sinon,

$\phi_{util}(h) = 0$ (W)

$$\begin{cases} id_{bch}(h) = 0 \\ id_{bfr}(h) = 0 \end{cases}$$

Dans le cas d'une ϕ_{util} nulle, les températures finales du groupe sont les températures calculées dans la fiche comportement thermique du groupe, à puissance appliquée nulle.

8.1.3.7 *Puissances requises et pertes au dos par émetteur*

Les énergies requises en chauffage et en refroidissement(en Wh) par l'émetteur *em* au pas de temps h sont les suivantes :

$$Q^{em}_{sys\_ch}(h) = id^{em}_{em\_chaud} \times \frac{Rat^{em}_{eff\_ch} \times MAX(0; \phi_{util}(h))}{1 - P^{em}_{per}}$$
$$Q^{em}_{sys\_fr}(h) = id^{em}_{em\_froid} \times \frac{Rat^{em}_{eff\_fr} \times MIN(0; \phi_{util}(h))}{1 - P^{em}_{per}} \quad (864)$$

8.1.3.8 *Modélisation des ventilateurs locaux des émetteurs (en méthode Th-C uniquement)*

8.1.3.8.1 Principe

La modélisation des ventilateurs locaux concerne les émetteurs gainés ou carrossés de type ventilo-convecteurs. On considère que ces ventilateurs possèdent au moins trois régimes de fonctionnement : à petite, moyenne et grande vitesse. Un régime de super petite vitesse peut également être prise en compte dans le cadre des ventilateurs à régulation automatique avec sonde intégrée (voir ci-dessous).

A chaque régime de fonctionnement est associé une puissance électrique P_{VCV} et un débit de recirculation Q_{m_recirc}. Le débit de recirculation correspond au débit effectif d'air intérieur qui fait l'objet d'un recyclage par l'émetteur. Ce débit de recirculation est considéré constant sur un pas de temps donné.

En ce qui concerne la régulation, on considère que les ventilateurs sont systématiquement asservis à la programmation et bascule en régime de grande vitesse (GV) en période de relance. Hors période de relance, les cas suivants sont distingués (selon la valeur de $Gest_{VCV}^{em}$):

- **Régulation manuelle uniquement** : le fonctionnement étant soumis à l'appréciation des occupants, on considère qu'il est permanent aussi bien en occupation qu'en inoccupation.

Le choix entre régime de petite vitesse (PV) et moyenne vitesse (MV) est déterminé lors du premier pas de temps d'occupation, en fonction des besoins en énergie de chaud ou de froid.

- **Régulation automatique nécessitant un fonctionnement permanent des ventilateurs:** le fonctionnement des ventilateurs est permanent, par exemple pour permettre à la sonde intégrée de mesurer la température ambiante. Le régime retenu est adapté chaque heure aux besoins de chaud ou de froid calculés. En l'absence de besoins, le régime de super petite vitesse est enclenché si l'appareil en dispose.

- **Régulation automatique permettant un arrêt total des ventilateurs lorsque la température de consigne est atteinte :** la régulation permet un arrêt des ventilateurs locaux en l'absence de besoins, et une adaptation du régime aux besoins le reste du temps.

Quelque soit le cas, les ventilateurs locaux ne sont activés qu'au cours des saisons de fonctionnement (chauffage et/ou refroidissement selon les fonctions de l'émetteur).

8.1.3.8.2 Algorithme de calcul des consommations électriques et des débits de recirculation d'un ensemble de ventilateurs locaux

La présence de ventilateurs locaux est signalée par : $Gest_{VCV}^{em} > 0$.

Les ventilateurs locaux ne sont activés qu'au cours des saisons de fonctionnement de l'émetteur auquel ils sont associés, ce qui se traduit par :

$$id_{em\_chaud}^{em} \times Aut_{ch,eff}(j) \text{ et } Aut_{ch,eff}(j) = 1$$
Ou
$$id_{em\_froid}^{em} = 1 \text{ et } Aut_{fr,eff}(j) = 1 \quad (865)$$

Dans le cas où ces conditions sont vérifiées, l'algorithme suivant est appelé :

Si $id_{relance}(h) = 1$, alors, *(en relance, le régime grande vitesse est imposé)*

$$\begin{cases} Q_{v\_recirc}^{em}(h) = Q_{v\_recirc\_GV}^{em} \\ W_{vent\_loc}^{em}(h) = P_{VCV\_GV}^{em} \end{cases}$$

Sinon, si *Gest$_{VCV}^{em}$ = 1*, (*gestion manuelle uniquement)*

Si $id_{occ\_zone}(h) = 1$ *et* $id_{occ\_zone}(h-1) = 0$, alors,

Si $Q_{sys\_ch}^{em}(h) > Rat_{eff\_ch}^{em}.A_{gr}.Seuil_{VCV\_pvmv\_ch}^{em}$ *ou* $Q_{sys\_fr}^{em}(h) < Rat_{eff\_fr}^{em}.A_{gr}.Seuil_{VCV\_pvmv\_fr}^{em}$, *alors,*

$$\begin{cases} Q_{v\_recirc}^{em}(h) = Q_{v\_recirc\_MV}^{em} \\ W_{vent\_loc}^{em}(h) = P_{VCV\_MV}^{em} \end{cases} \quad (866)$$

Sinon,

$$\begin{cases} Q_{v\_recirc}^{em}(h) = Q_{v\_recirc\_PV}^{em} \\ W_{vent\_loc}^{em}(h) = P_{VCV\_PV}^{em} \end{cases}$$

Sinon,

$$\begin{cases} Q_{v\_recirc}^{em}(h) = Q_{v\_recirc}^{em}(h-1) \\ W_{vent\_loc}^{em}(h) = W_{vent\_loc}^{em}(h-1) \end{cases}$$

Sinon, si *Gest$_{VCV}^{em}$ = 2*, alors, *(gestion automatique nécessitant un fonctionnement permanent des ventilateurs)*

Si $i_{spv} = 1$ *et* $id_{bch}(h) = 0$ *et* $id_{bfr}(h) = 0$, *alors,*

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = 0(m^3/h) \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = P^{em}_{VCV\_SPV} \end{cases}$$

Sinon,

Si $Q^{em}_{sys\_ch}(h) > Rat^{em}_{eff\_ch}.A_{gr}.Seuil^{em}_{VCV\_pvmv\_ch}$ *ou* $Q^{em}_{sys\_fr}(h) < Rat^{em}_{eff\_fr}.A_{gr}.Seuil^{em}_{VCV\_pvmv\_fr}$, *alors,*

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = Q^{em}_{v\_recirc\_MV} \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = P^{em}_{VCV\_MV} \end{cases},$$

Sinon,

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = Q^{em}_{v\_recirc\_PV} \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = P^{em}_{VCV\_PV} \end{cases}$$

Sinon, si $Gest_{VCV}^{em} = 3$, alors, *(gestion automatique permettant l'arrêt total des ventilateurs lorsque la température de consigne est atteinte)*

Si $id_{bch}(h) = 0$ *et* $id_{bfr}(h) = 0$, *alors,*

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = 0(m^3/h) \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = 0(W) \end{cases}$$

Sinon,

Si $Q^{em}_{sys\_ch}(h) > Rat^{em}_{eff\_ch}.A_{gr}.Seuil^{em}_{VCV\_pvmv\_ch}$ *ou* $Q^{em}_{sys\_fr}(h) < Rat^{em}_{eff\_fr}.A_{gr}.Seuil^{em}_{VCV\_pvmv\_fr}$, *alors,*

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = Q^{em}_{v\_recirc\_MV} \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = P^{em}_{VCV\_MV} \end{cases},$$

Sinon,

$$\begin{cases} Q^{em}_{v\_recirc}(h) = Q^{em}_{v\_recirc\_PV} \\ W^{em}_{vent\_loc}(h) = P^{em}_{VCV\_PV} \end{cases}$$

On considère que l'ensemble de la consommation des ventilateurs est transmise à l'ambiance sous forme de chaleur :

$$\Phi_{vent\_loc\_vc}^{em}(h) = W_{vent\_loc}^{em}(h) \quad (867)$$

8.1.3.8.3 Conversion du débit de recirculation

Pour un émetteur, le débit massique de recirculation est obtenu sur la base de la masse volumique de l'air au pas de temps précédent :

$$Q^{em}_{m\_recirc}(h) = \rho_{i,g}(h-1).\frac{Q^{em}_{v\_recirc}(h)}{3600} \quad (868)$$

8.1.3.8.4 Consommation totale des ventilateurs locaux

Ensuite, on réalise la sommation des consommations électriques de l'ensemble des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe :

$$W_{vent\_loc\_tot}(h) = \sum_{em} W^{em}_{vent\_loc}(h) \quad (869)$$

On somme également l'ensemble des parts transmises à l'ambiance de ces consommations électriques.

$$\phi_{vent\_loc\_vc}(h) = \sum_{em} \phi^{em}_{vent\_loc\_vc}(h) \quad (870)$$

8.1.3.8.5 Débit de recirculation effectif et humidité à saturation des émetteurs à recyclage d'air

La température de dimensionnement de la batterie froide est la température de dimensionnement des réseaux d'eau froide ou la température d'évaporateur (climatiseur à détente directe). Dans ce dernier cas, faute d'informations, la valeur conventionnelle retenue est 9°C :

Si id_{type}^{2nd} = 0 (réseau fictif, climatiseur à détente directe) :

$$\theta_{batt\_dim}^{em} = 9°C \quad (871)$$

Si id_{type}^{2nd} = 1 (réseau d'eau ou fluide de distribution) :

Si id_{gest_fr} = 1 (température de départ constante) :

$$\theta_{batt\_dim}^{em} = \theta_{dep\_\dim\_fr}^{em} - \frac{\Delta\theta_{em\_\dim\_fr}^{em}}{2} \quad (872)$$

Si id_{gest_fr} = 2 (température de retour constante) :

$$\theta_{batt\_dim}^{em} = \theta_{ret\_\dim\_fr}^{em} - \frac{\Delta\theta_{em\_\dim\_fr}^{em}}{2}$$

La batterie est représentée à l'aide d'un facteur de bypass : l'air sortant de la batterie est considéré comme un mélange d'air à saturation à la température de la batterie, θ_{batt} et d'air non affecté par son passage.

Selon le type de régulation de la batterie ($id_{regul\_batt}^{em}$), le débit de recirculation effectif et la température de batterie sont calculés de manière différente :

- $id_{regul\_batt}^{em}$ = 0, *batterie à débit d'eau régulé de façon progressive : le débit de recirculation effectif est calculé sur la base du débit de recirculation total au régime de fonctionnement du ventilateur. On retient un facteur de by-pass conventionnel de* FB_{batt} *=0,8. La température de batterie est variable :*

$$Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h) = FB_{batt}^{em} \times Q_{m\_recirc}^{em}(h) \quad (873)$$

$$\theta_{batt}^{em}(\square) = MAX\left(\theta_{batt\_dim}^{em};\ \theta_{i,moy}(\square) + \frac{Q_{sys\_fr}^{em}(\square)}{Ca \times Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(\square)}\right) °C \quad (874)$$

- $id_{regul\_batt}^{em}$ = 1, *autre cas (température de batterie constante) : le débit de recirculation effectif est calculé sur la base des besoins sensibles en froid. La température de batterie est la température moyenne de dimensionnement:*

$$\theta_{batt}^{em}(h) = \theta_{batt\_dim}^{em} \quad (875)$$

$$Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h) = \frac{-Q_{sys\_fr}^{em}(h)}{Ca \times (\theta_{i,moy}(h) - \theta_{batt}^{em}(h))} \quad (876)$$

Pour les émetteurs munis de ventilateurs locaux, l'impact de la déshumidification sur le bilan hydrique nécessite de connaitre l'humidité spécifique de saturation de la batterie froide, calculée à partir de la température de surface de la batterie froide θ_{batt}.

L'expression de l'humidité spécifique à saturation est la suivante :

$$\omega_{sat}^{em}(h) = 10^{-3} \times \frac{HR_{sat}}{100} \times exp(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{batt}^{em}(h) + 235.00}) \quad (877)$$

Où l'humidité relative à saturation est HR_{sat} = 100

8.1.3.9 *Besoins, températures finales et moyennes au niveau du groupe*

Au final, les besoins effectifs totaux du groupe se calculent de la manière suivante :

$$\begin{aligned} Q_{sys\_ch}(h) &= \sum_{em} Q^{em}_{sys\_ch}(h) \\ Q_{sys\_fr}(h) &= \sum_{em} Q^{em}_{sys\_fr}(h) \end{aligned} \quad (878)$$

Les dérives des températures de consigne dans la définition de la température $\theta_{op,fin}$ sont celles correspondant à l'émetteur de chaud si le système est en chauffage, à l'émetteur de froid si le système est en refroidissement, et sont nulles si aucun système n'est en marche.

Les températures finales au sein du groupe sont obtenues par les interpolations linéaires suivantes :

$$\begin{cases} \theta_{i,fin} = \theta_{i,fin_{(0,0)}} \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{i,fin_{(10,0)}} - \theta_{i,fin_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{i,fin_{(0,10)}} - \theta_{i,fin_{(} \right. \\ \theta_{s,fin} = \theta_{s,fin_{(0,0)}} \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{s,fin_{(10,0)}} - \theta_{s,fin_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{s,fin_{(0,10)}} - \theta_{s,fi} \right. \\ \theta_{m,fin} = \theta_{m,fin_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{m,fin_{(10,0)}} - \theta_{m,fin_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{m,fin_{(0,10)}} - \right. \\ \theta_{rm,fin} = \theta_{rm,fin_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{rm,fin_{(10,0)}} - \theta_{rm,fin_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{rm,fin_{(} \right. \\ \theta_{op,fin} = \theta_{op,fin_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{op,fin_{(10,0)}} - \theta_{op,fin_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{op,fin_{(0,1} \right. \\ -id_{bch}(h).(\delta\theta_{vt\_eq\_ch} + \delta\theta_{vs\_eq\_ch}) - id_{bfr}(h).(\delta\theta_{vs\_eq\_fr} + \delta\theta_{vt\_eq\_fr}) \end{cases} \quad (879)$$

Les températures moyennes au sein du groupe sont obtenues par les interpolations linéaires suivantes :

$$\begin{cases} \theta_{i,moy} = \theta_{i,moy_{(0,0)}} \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{i,moy_{(10,0)}} - \theta_{i,moy_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{i,moy_{(0,10)}} - \theta_{i,moy} \right. \\ \theta_{s,moy} = \theta_{s,moy_{(0,0)}} \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{s,moy_{(10,0)}} - \theta_{s,moy_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{s,moy_{(0,10)}} - \theta_{s,mo} \right. \\ \theta_{m,moy} = \theta_{m,moy_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{m,moy_{(10,0)}} - \theta_{m,moy_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{m,moy_{(0,10)}} - \right. \\ \theta_{rm,moy} = \theta_{rm,moy_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{rm,moy_{(10,0)}} - \theta_{rm,moy_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{rm,moy_{(} \right. \\ \theta_{op,moy} = \theta_{op,moy_{(0,0)}} + \frac{\phi_{util-conv}}{10} \cdot \left(\theta_{op,moy_{(10,0)}} - \theta_{op,moy_{(0,0)}}\right) + \frac{\phi_{util-rad}}{10} \cdot \left(\theta_{op,moy_{(0,1} \right. \\ -id_{bch}(h).(\delta\theta_{vt\_eq\_ch} + \delta\theta_{vs\_eq\_ch}) - id_{bfr}(h).(\delta\theta_{vs\_eq\_fr} + \delta\theta_{vt\_eq\_fr}) \end{cases} \quad (880)$$

Avec :

$$\begin{cases} \phi_{util-conv}(h) = P_{emconv} \cdot \phi_{util}(h) \\ \phi_{util-rad}(h) = (1 - P_{emconv}) \cdot \phi_{util}(h). \end{cases} \quad (881)$$

8.1.3.10 *Prise en compte de l'énergie latente (en calcul des consommations uniquement)*

Après réalisation du calcul de déshumidification, on ajoute les besoins en froid latents aux besoins sensibles précédemment calculés pour les différents émetteurs et pour le groupe :

$$\begin{cases} Q^{em}_{sys\_fr}(h) += Q^{em}_{sys\_lat}(h) \\ Q_{sys\_fr}(h) += Q_{sys\_lat}(h) \end{cases} \quad (882)$$

8.2 FA_Emissions_mixte_et_composite

8.2.1 INTRODUCTION

L'objectif est ici de préciser la saisie des émetteurs de chauffage dans le moteur Th-BCE, dans le cas où plusieurs émetteurs de natures différentes sont présents dans le même groupe.

Quatre parties décrivent les différentes configurations, sur les périmètres précisés dans le tableau suivant :

Parties relatives …	S'applique lorsque…	Champs d'application
… aux configurations avec systèmes d'émission à air non gainés	Une partie des locaux possède des émetteurs de chauffage d'un certain type. Une autre partie possède des émetteurs de chauffage de nature différente, avec des régulations indépendantes.	Maison individuelle ou accolée, et logements collectifs
… aux configurations avec appareil indépendant de chauffage au bois		Maison individuelle ou accolée
… aux émetteurs de type poêles et inserts gaz		Maison individuelle ou accolée, et logements collectifs
…à l'émission composite	Dans des mêmes locaux cohabitent deux émetteurs, avec des régulations dépendantes	Tous usages

8.2.2 DEFINITIONS

Emission mixte :

Le terme émission mixte est un terme générique pour définir la présence de plusieurs systèmes d'émission de caractéristiques différentes au sein d'un même groupe. La régulation de chaque système d'émission est alors indépendante.

Emission composite :

On parle d'émission composite quand cohabitent pour des mêmes locaux deux systèmes d'émission de caractéristiques différentes pouvant être ou non regroupés dans un même appareil. La régulation des systèmes d'émission est liée.

Système d'émission à air non gainé :

Intègre les systèmes à air brassé ou à air soufflé dans un local et régulé selon la température de ce dernier.

8.2.3 PRISE EN COMPTE DES SYSTEMES D'EMISSION A AIR NON GAINES DANS LES MAISONS INDIVIDUELLES OU ACCOLEES ET LES LOGEMENTS COLLECTIFS

Cette partie précise les modalités de prise en compte des systèmes d'émission à air non gainés dans les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, en l'absence se système d'émission complémentaire dans le local dans lequel ils sont situés.

8.2.3.1 ***Définition des configurations de système d'émission à air non gainé***

Lorsque le système à air n'est pas gainé,

- le système couvre la totalité des besoins de chauffage du local dans lequel il est situé, et émet de la chaleur, appelée partie A. Cette partie n'est donc pas considérée comme émission composite puisqu'il n'y a qu'un seul émetteur ;

- le système couvre, en plus, une partie des besoins de chauffage des autres locaux, appelée partie B ; le reste des besoins de chauffage de ces locaux est assuré par des émetteurs complémentaires.

Par convention, le système à air ne peut chauffer plus de 100m². Il peut contribuer au chauffage d'une maison à étages ou d'un logement sur plusieurs niveaux, dans la limite d'un niveau au-dessus de lui (ex : un système d'émission à air installé au rez-de-chaussée d'une maison individuelle peut contribuer au chauffage de son premier étage, dans la limite de 100m² au total).

Pour entrer dans le cadre de cette partie, le système doit pouvoir couvrir au moins 1.3 les besoins de la partie A à la température de base. Le bon dimensionnement du système doit être pris en compte également au regard du confort (thermique, acoustique…) des occupants. Dans le cas contraire, il est supposé ne couvrir les besoins que du local dans lequel il est situé.

Si le système à air est gainé et si d'autres systèmes d'émission sont présents, l'émission fonctionne selon les principes définis dans l'une des trois configurations de l'émission composite décrites dans la partie 8.2.6 de la présente fiche, relative à l'émission composite.

8.2.3.2 *Méthode de prise en compte des émetteurs à air non gainés*

8.2.3.2.1 Méthode générale

Chaque type d'émetteur est décrit dans le calcul réglementaire par sa variation spatiale, sa variation temporelle, son coefficient de pertes au dos et son ratio Ratem, avec :

$$Rat^{em} = Rat_s^{em} * Rat_t^{em}$$

Rat_s^{em} est le ratio d'émission spatial (ratio de la surface utile du local (ou des locaux) desservis par l'émetteur sur la surface utile totale du groupe.

Rat_t^{em} est le ratio d'émission temporel (ratio de répartition des besoins entre plusieurs émetteurs desservant les mêmes locaux).

Le ratio d'émission spatial Rat_s^{em} est propre au projet. Cette partie fournit les valeurs de ratios temporels Rat_t^{em} à utiliser pour la modélisation des systèmes composites sur les parties de bâtiment concernées.

Elle fournit également les variations spatiales et temporelles à utiliser pour la saisie dans le calcul réglementaire.

8.2.3.2.2 Méthode spécifique aux systèmes d'émission à air non gainés

La **partie A** correspond aux pièces où se situe l'émetteur à air et représente la **surface des locaux desservie uniquement par ce système**. Dans cette partie du bâtiment, il n'y a aucun autre émetteur ni réservations permettant d'en installer. La présence d'une porte entre la pièce où se situe l'émetteur et une autre pièce conduit à exclure cette autre pièce de la partie A.

Dans la partie B, correspondant à toutes les autres pièces hors salle(s) de bains, les valeurs de ratios temporels à utiliser pour les systèmes d'émission non gainé et le système complémentaire sont les suivants :

	Emetteur à air non gainé		Emetteur complémentaire en partie B	Emetteur complémentaire en SDB
Surface réelle desservie par l'émetteur	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_B de la partie B	Surface S_{SDB} de la SDB
Ratio spatial de surface desservie Rat_s	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_{SDB}}{S_A + S_B + S_{SDB}}$
Ratio temporel de part des besoins couverte Rat_t	1,0	En H1 : 0.40 En H2a, H2b, H2c : 0.45 En H2d et H3 : 0.55	En H1 : 0.60 En H2a, H2b, H2c : 0.55 En H2d et H3 : 0.45	1,0

Le groupe doit comporter

- un émetteur à air non gainé, avec ses variations spatiale et temporelle
- des émetteurs complémentaires en partie B avec leurs variations spatiale et temporelle. Si ce sont des réservations, les variations temporelles par défaut sont à utiliser
- des émetteurs en salle de bain avec leurs variations spatiale et temporelle.

8.2.4 PRISE EN COMPTE DES APPAREILS INDEPENDANTS DE CHAUFFAGE A BOIS DANS LES MAISONS INDIVIDUELLES OU ACCOLEES

Cette partie précise les modalités de prise en compte dans la RE 2020 des appareils indépendants de chauffage à bois dans les maisons individuelles ou accolées.

Les locaux qui peuvent ne pas comporter de régulation, au titre de l'article 29 du présent arrêté, sont uniquement les pièces en connexion aéraulique avec l'émission de l'appareil indépendant de chauffage à bois (une porte ouvrable vers des pièces contiguës permet cette connexion aéraulique), dans la limite de 100m².

Les règles quant à la présence d'autres émetteurs indépendants dans cette même surface sont précisées ci-après. Le bon dimensionnement du système doit être pris en compte également au regard du confort des occupants.

Les salles de bains ne sont pas comptabilisées dans la surface de 100 m² desservie par l'appareil indépendant de chauffage à bois et doivent être équipées d'émetteurs de chauffage.

Au-delà de la limite de 100 m², les locaux non desservis doivent être équipés d'émetteurs, le chauffage de ces locaux étant alors intégralement assuré par ces émetteurs, ou bénéficier d'un autre appareil indépendant de chauffage à bois.

La présente partie précise le mode de prise en compte des appareils indépendants de chauffage à bois en association avec d'autres systèmes de chauffage (génération-émission) dans deux configurations :

- Dans le cas des appareils indépendants de chauffage à bois **dotés d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique** en fonction de la température intérieure ;

- Dans le cas des appareils indépendants de chauffage à bois **qui ne sont pas dotés d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique** en fonction de la température intérieure.

8.2.4.1 *Cas des appareils indépendants de chauffage à bois dotés d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure*

Lorsque le chauffage est assuré par un appareil indépendant de chauffage à bois, le dispositif permettant de réguler cet appareil peut être commun à des locaux d'une surface totale maximale de 100 m².

En outre, pour que le bois puisse être considéré comme énergie principale, dans le cas où un autre système de chauffage équipe ces mêmes locaux, les conditions suivantes doivent être respectées :

→ La partie desservie par l'appareil indépendant de chauffage à bois, d'une surface maximale de 100 m², est décomposée en deux parties : partie A et partie B :

- La **partie A** correspond aux pièces de jour où se situe l'appareil indépendant de chauffage à bois et représente la **surface des locaux desservie uniquement par l'appareil indépendant de chauffage à bois**. La présence d'une porte entre la pièce où se situe l'émetteur et une autre pièce conduit à exclure cette autre pièce de la partie A ;
  Dans cette partie du bâtiment, il n'y a aucun autre émetteur ni réservations permettant d'en installer.

- La **partie B** correspond à toutes les autres pièces hors salle(s) de bains Dans cette partie du bâtiment, le chauffage est assuré **pour partie par l'appareil indépendant de chauffage à bois et pour partie par un autre système de chauffage** ; une répartition temporelle de l'utilisation des deux systèmes de chauffage est appliquée selon les modalités décrites ci-dessous.

→ $$\sum(\mathrm{Rat_s} \times \mathrm{Rat_t})_{\mathrm{bois}} > \sum(\mathrm{Rat_s} \times \mathrm{Rat_t})_{\mathrm{autres}}$$

Rat_s et Rat_t étant respectivement les ratios spatial et temporel des émetteurs utilisés dans les différentes parties de la maison.

8.2.4.1.1 Modalités de calcul

Il convient de ne décrire qu'**un seul groupe** correspondant à la surface habitable du logement. L'appareil indépendant de chauffage à bois et les émetteurs dans la partie nuit constituent des émetteurs mixtes du groupe dont il faut déterminer le Rat_{em} (*cf Th-BCE 8.1.3.1.8*) permettant de retrouver la répartition des parts de chauffage :

	Emetteur appareil indépendant de chauffage à bois		**Emetteur complémentaire en partie nuit**	**Emetteur complémentaire en SDB**
Surface réelle desservie par l'émetteur	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_B de la partie B	Surface S_{SDB} de la SDB
Ratio spatial de surface desservie Rat_s	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_{SDB}}{S_A + S_B + S_{SDB}}$
Ratio temporel de part des besoins couverte Rat_t	1,0	0,5	0,5	1,0

Ces données sont à remplir dans la description des émetteurs au niveau de la « part des besoins assurée par ce système d'émission ».

8.2.4.2 *Cas des appareils indépendants de chauffage à bois qui ne sont pas dotés d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure*

Lorsque le chauffage de locaux est assuré par un appareil de chauffage indépendant à bois qui n'est pas muni d'un système de régulation automatique, **les locaux considérés doivent être pourvu d'un système principal de chauffage doté d'un dispositif d'arrêt manuel et de réglage automatique en fonction de la température intérieure.** L'appareil indépendant de chauffage à bois intervient alors comme système complémentaire. La répartition de la couverture des besoins s'effectue alors comme suit :

→ La partie desservie par l'appareil indépendant de chauffage à bois, d'une surface maximale de 100 m², est décomposée en deux parties : partie A et partie B :

- La partie A correspond aux pièces de jour où se situe l'appareil indépendant de chauffage à bois
- La présence d'une porte entre la pièce où se situe l'émetteur et une autre pièce conduit à exclure cette autre pièce de la partie A ;
- La partie B correspond à toutes les autres pièces hors salle(s) de bains

Dans les parties A et B du bâtiment, le chauffage est assuré pour partie par l'appareil indépendant de chauffage à bois et pour partie par un autre système de chauffage, une répartition temporelle de l'utilisation des deux systèmes de chauffage est appliquée selon les modalités décrites ci-dessous.

8.2.4.2.1 Modalités de calcul

Il convient de ne décrire qu'**un seul groupe** correspondant à la surface habitable du logement. L'appareil indépendant de chauffage à bois et les émetteurs dans la partie nuit constituent des émetteurs mixtes du groupe dont il faut déterminer le Rat_{em} (*cf Th-BCE 8.1.3.1.8*) permettant de retrouver la répartition des parts de chauffage :

	Emetteur appareil indépendant de chauffage à bois		**Emetteurs du système principal de chauffage**		**Emetteur complémentaire en SDB**
Surface réelle desservie par l'émetteur	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_{SDB} de la SDB
Ratio spatial de surface desservie Rat_s	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_{SDB}}{S_A + S_B + S_{SDB}}$
Ratio temporel de part des besoins couverte Rat_t	0,5	0,25	0,5	0,75	1,0

Ces données sont à remplir dans la description des émetteurs au niveau de la « part des besoins assurée par ce système d'émission ».

8.2.5 PRISE EN COMPTE DES APPAREILS INDEPENDANTS DE CHAUFFAGE A COMBUSTIBLE GAZEUX DE TYPE POELES ET INSERTS DANS LES MAISONS INDIVIDUELLES OU ACCOLEES

Cette partie précise les modalités de prise en compte des appareils indépendants de chauffage à combustibles gazeux de type poêles et inserts gaz dans les maisons individuelles ou accolées.

8.2.5.1 ***Définition des configurations couvertes***

Les éléments fournis ici s'appliquent aux appareils de chauffage indépendants à convection utilisant les combustibles gazeux :

- À foyer fermé ;
- De type C (étanche) ;
- De débit calorifique inférieur ou égal à 20 kW ;
- Équipé d'un thermostat d'ambiance programmable ;

Sont exclus les appareils à foyer ouvert, non étanches et les appareils à effet décoratif.

L'application est limitée aux bâtiments ou parties de bâtiments à usage de :

- maisons individuelles ou accolées,
- logements collectifs.

Le système ne peut être installé qu'en appoint d'un système principal de chauffage, quel qu'il soit.

8.2.5.2 ***Méthode de prise en compte des appareils indépendants de chauffage à combustible gazeux type poêles et inserts gaz***

8.2.5.2.1 Principe général

Deux aspects distincts sont traités : la performance de la génération, et la performance de l'émission.

8.2.5.2.2 Génération

Les normes relatives aux poêles et inserts gaz sont identiques à celles des radiateurs gaz. Les éléments sont fournis dans la fiche dédiée : *8.20 C_GEN_AUTRES_GENERATEURS_A_COMBUSTION*

8.2.5.2.3 Émission

L'émission est modélisée par les sections relatives aux poêles et inserts, tels qu'existant dans le chapitre 8.1.

8.2.5.2.4 Ratios d'émissions

Le système étant installé en appoint d'un système principal de chauffage, des ratios temporels d'émissions sont définis comme suit :
- Dans la pièce où le système est installé (surface S_A de la partie A), le système couvre 10% des besoins, soit un Ratem_t égal à 0,1 ;

- Dans les pièces attenantes (surface S_B de la partie B), le système participe au chauffage à hauteur de 5% des besoins, soit un Ratem_t égal à 0,05.

	Système principal		**Systèmes de chauffage à combustible gazeux installés en appoint**		**Emetteur complémentaire en SDB ou système principal**
Surface réelle desservie par l'émetteur	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_A de la partie A	Surface S_B de la partie B	Surface S_{SDB} de la SDB
Ratio spatial de surface desservie Rat_s	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_A}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_B}{S_A + S_B + S_{SDB}}$	$\frac{S_{SDB}}{S_A + S_B + S_{SDB}}$
Ratio temporel de part des besoins couverte Rat_t	0,9	0,95	0,1	0,05	1,0

La totalité de la surface desservie par le système (S_A + S_B) ne peut excéder 100 m².

Cette surface désigne la surface réelle des locaux en connexion aéraulique avec la pièce d'émission du système (une porte ouvrable vers des pièces contiguës permet cette connexion aéraulique).

Les salles de bains ne sont pas comptabilisées dans la surface de 100 m² desservie par le système et doivent être équipées d'émetteurs de chauffage.

Au-delà de la limite de 100 m², les locaux non desservis doivent être équipés d'émetteurs, le chauffage de ces locaux étant alors intégralement assuré par ces émetteurs, ou bénéficier d'un autre appareil indépendant de chauffage.

8.2.6 SYSTEMES D'EMISSION COMPOSITES DE CHAUFFAGE

Cette partie précise les modalités de saisie, dans le calcul réglementaire, des systèmes d'émission de chauffage dits composites, c'est-à-dire quand **cohabitent pour des mêmes locaux deux systèmes d'émission de caractéristiques différentes** pouvant être ou non regroupés dans un même appareil.

La prise en compte des systèmes à air non gainé et des appareils indépendants de chauffage à bois ou gaz dans les maisons individuelles ou accolées, précisée dans les parties 8.2.3, 8.2.4 et 8.2.5, n'est pas l'objet de cette partie.

8.2.6.1 ***Définition des différentes configurations de systèmes d'émission composite***

8.2.6.1.1 Configuration n°1 : base + appoint

Le système d'émission n°1 dit « de base » assure une fourniture toujours inférieure aux besoins (régule à une température inférieure à la température de consigne) et est complété systématiquement par un système d'émission n°2 dit « d'appoint ». Le système d'appoint est donc utilisé **en permanence** pour atteindre le point de consigne. Il est régulé en fonction de la température intérieure et assure l'ajustement de l'émission finale.

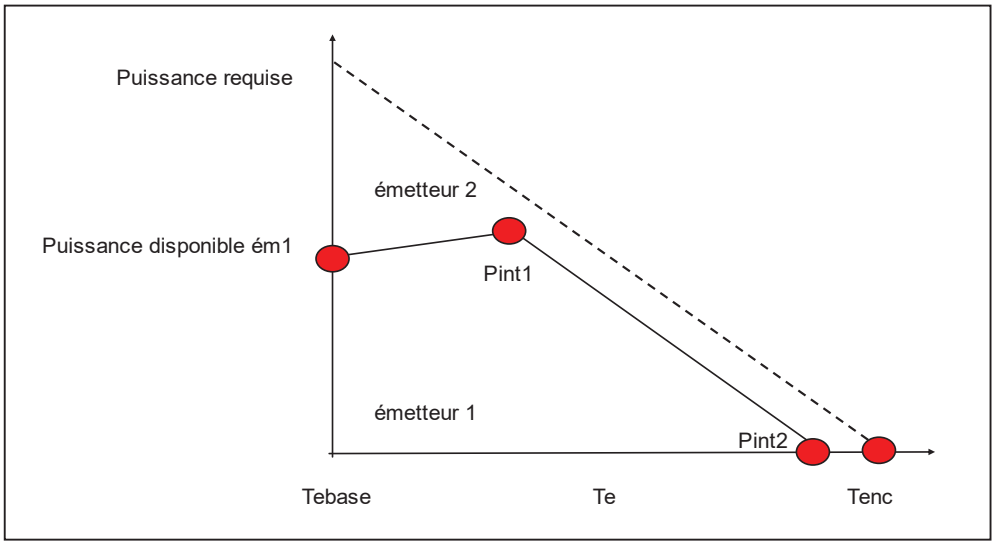


Figure 89 – évolution des puissances disponibles et requises pour les systèmes 1 et 2 en fonction de la température extérieure (entre la Tbase et la température de non chauffage)

Il est convenu que toutes les configurations à chauffage composite pour lesquelles le système d'émission de base est à air soufflé ou brassé sont de type « base+appoint ».

Exemple :

Plancher chauffant assurant le rôle de base afin d'accumuler de l'énergie pour obtenir une température de 16-17°C – appoint par des convecteurs électriques (par exemple) pour atteindre la température de consigne.

8.2.6.1.2 Configuration n°2 : complément par temps froid

Lorsqu'il s'agit de générateurs associés à la même génération, la présente méthode de calcul est déjà adaptée à ce type de configuration (fonctionnement en cascade décrit au chapitre 8.17). Elle permet de prendre en compte le manque de puissance d'un générateur lorsque les besoins deviennent supérieurs à la puissance disponible. Il est alors fait appel au générateur d'appoint.
Lorsqu'un même émetteur ou plusieurs utilisent des sources de chauffage ou des générateurs différents pour assurer le traitement de locaux ou d'une partie de locaux, et fonctionnent en mode « complément par temps froid », le système d'émission n°1 est alors prioritaire et assure l'intégralité des besoins par temps doux. Il est complété par un système d'appoint par temps froid.

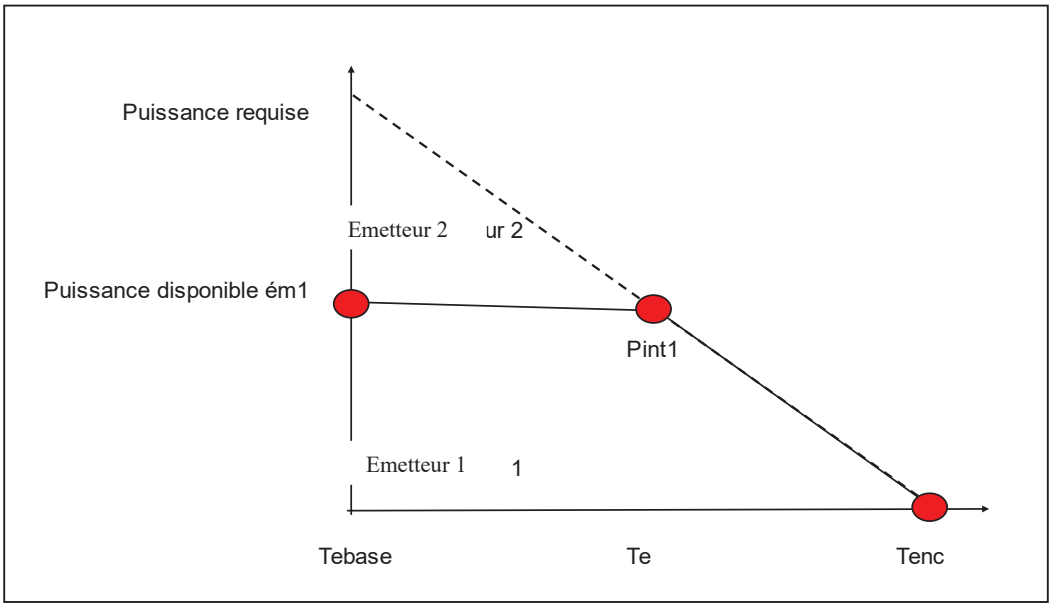


Figure 90 – évolution des puissances disponibles et requises pour les systèmes 1 et 2 en fonction de la température extérieure - complément par temps froid

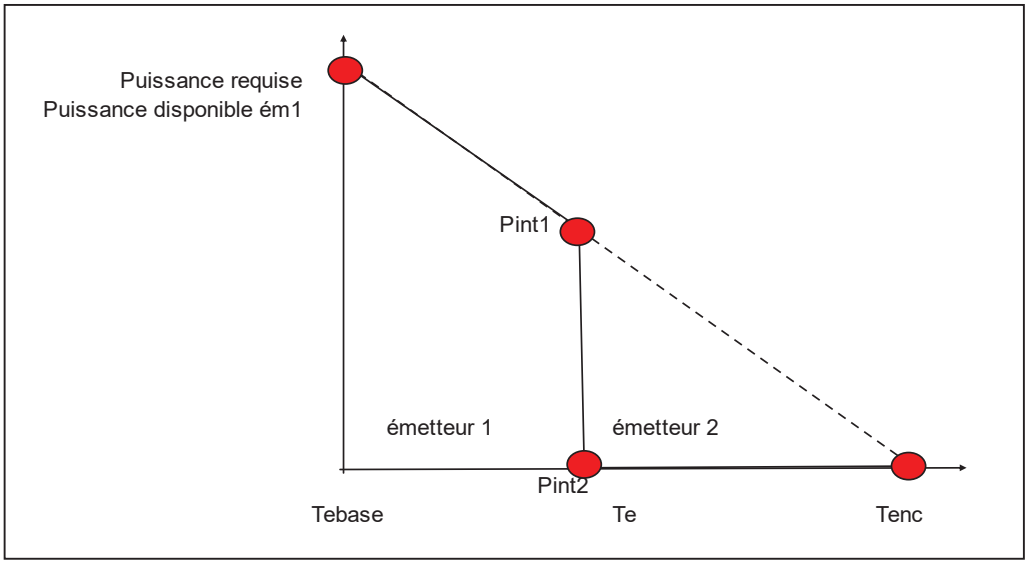
Exemples :

Ventilo-convecteurs 2 tubes réversibles / 2 fils : lorsque les batteries électriques viennent en complément du chauffage hydraulique (lorsque l'ouverture de la vanne de régulation du VCV est supérieure à un seuil défini, typiquement 80% dans les bâtiments de bureaux). La résistance ne fonctionne jamais seule.

Sèche serviette mixte (eau / électrique) : le générateur assurant l'alimentation en eau du sèche-serviette peut également alimenter en eau les autres émetteurs du bâtiment. Dans ce cas, on séparera ces émetteurs du sèche-serviette dans la description, ce dernier lui-même modélisé par deux émetteurs, un pour la partie électrique, l'autre pour la partie à eau, afin de pouvoir isoler les types d'énergie et les propriétés d'émission.

8.2.6.1.3 Configuration n°3 : systèmes dits alternés

Le système d'émission 1 et le système d'émission 2 sont mis en œuvre à des périodes différentes de l'année.



519/1376

Figure 91 – évolution des puissances disponibles et requises pour les systèmes 1 et 2 en fonction de la température extérieure – configuration « systèmes alternés »

L'arrêt du système 1 se fait en fonction de la température extérieure. **Il convient donc de ne pas confondre ce type de fonctionnement avec celui dit « en alternance »**, pouvant être utilisé comme mode de régulation des générateurs (chapitre 8.17 de la méthode Th-BCE) où l'on utilise alternativement les différents générateurs (seul ou plusieurs) en fonction de la charge du bâtiment.

Exemple :

Pompe à chaleur en relève de chaudière, régulées sur la température extérieure : La chaudière fonctionne pour les températures les plus froides et la PAC pour les températures les plus chaudes, les deux ne fonctionnant jamais simultanément.

8.2.6.2 *Méthode de prise en compte des émetteurs composites et exemples*

8.2.6.2.1 Méthode générale

Chaque type d'émetteur est décrit par sa variation spatiale, sa variation temporelle, son coefficient de pertes au dos et son ratio Ratem, avec :

$$Rat^{em} = Rat_s^{em} * Rat_t^{em}$$

Rat_s^{em} est le ratio d'émission spatial (ratio de la surface utile du local (ou des locaux) desservis par l'émetteur sur la surface utile totale du groupe.

Rat_t^{em} est le ratio d'émission temporel (ratio de répartition des besoins entre plusieurs émetteurs desservant les mêmes locaux).

Le ratio d'émission spatial Rat_s^{em} est propre au projet. Cette partie va s'attacher à fournir les valeurs de ratios temporels Rat_t^{em} à utiliser pour la modélisation des systèmes composites sur les parties de bâtiment concernées.

Elle fournira également les variations spatiales et temporelles à utiliser pour la saisie dans le calcul réglementaire.

8.2.6.2.2 Configuration n°1 : base + appoint

Les valeurs de ratios temporels à utiliser pour les différents systèmes d'émission (base et appoint) sont les suivants selon la zone climatique (la zone H3 est différenciée des autres zones climatiques) et selon la puissance du système d'émission n°1 (base) par rapport à la puissance requise en conditions de base pour la partie à chauffage composite considérée.

Puissance système d'émission n°1 / puissance requise en conditions de base *	**0,9**	**0,7**	**0,5**	**0,3**
Part d'énergie apportée par la base zones autres que H3 (*Ratem_t base H1/H2*)	0,76	0,75	0,69	0,5
Part d'énergie apportée par la base zone H3 (*Ratem_t base H3*)	0,67	0,67	0,59	0,39
Part d'énergie apportée par l'appoint zones autres que H3 (*Ratem_t appoint H1/H2*)	0,24	0,25	0,31	0,5
Part d'énergie apportée par l'appoint zone H3 (*Ratem_t appoint H3*)	0,33	0,33	0,41	0,61

** Puissance système d'émission n°1 : il s'agit uniquement de la puissance disponible pour la partie à chauffage composite (un émetteur peut éventuellement assurer la totalité des besoins de chauffage sur une partie de locaux et avoir encore de la puissance disponible pour assurer une base pour la partie à chauffage composite).*

Puissance requise en conditions de base : il s'agit uniquement de la puissance requise de la partie à chauffage composite.

Il convient de choisir la colonne qui correspond au plus proche du rapport P_syst_1 / P_requise (pas d'interpolation ni d'extrapolation des valeurs). Pour que le système d'émission n°1 puisse être considéré en « base », sa puissance disponible pour la partie à chauffage composite doit être supérieure ou égale à 30% de la puissance requise en conditions de base.

Concernant les variations spatiales et temporelles à utiliser, le système d'émission n°1 (base) ne fournit jamais la totalité du besoin de chauffage, le système d'émission n°2 (appoint) est toujours utilisé pour réaliser le complément. C'est lui qui assure l'atteinte du point de consigne. **Les deux émetteurs sont donc affectés de la variation spatiale et de la variation temporelle de l'émetteur n°2 d'appoint.**

8.2.6.2.3 Configuration n°2 : complément par temps froid

Lorsqu'un même émetteur ou plusieurs utilisent des sources de chauffage ou des générateurs différents pour assurer le traitement de locaux ou d'une partie de locaux, et fonctionnent en mode « complément par temps froid », on utilise pour ces émetteurs les valeurs de ratio temporels ci-dessous selon la zone climatique (la zone H3 est différenciée des autres zones climatiques) et selon la puissance du système d'émission n°1 (base) par rapport à la puissance requise en conditions de base pour la partie à chauffage composite considérée.

Puissance système d'émission n°1 / puissance requise en conditions de base *	**0,9**	**0,7**	**0,5**
Part d'énergie apportée par la base zones autres que H3 (*Ratem_t base H1/H2*)	0,99	0,99	0,97
Part d'énergie apportée par la base zone H3 (*Ratem_t base H3*	0,99	0,98	0,95
Part d'énergie apportée par le complément zones autres que H3 (*Ratem_t comp H1/H2*)	0,01	0,01	0,03
Part d'énergie apportée par le complément zone H3 (*Ratem_t comp H3*)	0,01	0,02	0,05

** Puissance système d'émission n°1 : il s'agit uniquement de la puissance disponible pour la partie à chauffage composite (un émetteur peut éventuellement assurer la totalité des besoins de chauffage sur une partie de locaux et avoir encore de la puissance disponible pour assurer une base pour la partie à chauffage composite).*

Puissance requise en conditions de base : il s'agit uniquement de la puissance requise de la partie à chauffage composite.

Il convient de choisir la colonne qui correspond au plus proche du rapport P_syst_1 / P_requise (pas d'interpolation ni d'extrapolation des valeurs). Pour que le système d'émission n°1 puisse être considéré en « base », sa puissance disponible pour la partie à chauffage composite doit être supérieure ou égale à 50% de la puissance requise en conditions de base.

Concernant les variations spatiales et temporelles à utiliser, le système d'émission n°2 intervient uniquement par temps froid. Le système d'émission n°1 assure, selon les coefficients conventionnels définis précédemment, la plus grande majorité des besoins (95% ou plus). **On applique donc la variation spatiale et la variation temporelle de l'émetteur 1 aux deux émetteurs.**

8.2.6.2.4 Configuration n°3 : systèmes dits alternés

Les valeurs de ratios temporels à utiliser pour les différents émetteurs (fonctionnant hors et en mi-saison) sont les suivants selon la zone climatique (la zone H3 est différenciée des autres zones climatiques).

Zone climatique	zones autres que H3	H3
Part d'énergie apportée par le système alterné fonctionnant **hors** mi-saison	0,77	0,64
Part d'énergie apportée par le système alterné fonctionnant **en** mi-saison	0,23	0,36

Concernant les variations spatiales et temporelles à utiliser, les deux systèmes interviennent sur des périodes distinctes, jamais en même temps. Chacun va donc fonctionner selon ses caractéristiques de régulation propres. **On conserve donc ici les variations spatiales et temporelles propres à chaque émetteur.**

8.3 C_Emi_Bilan hydrique

8.3.1 INTRODUCTION

Cette fiche décrit le bilan hydrique au sein de chaque groupe d'une zone donnée. Une zone regroupe en effet plusieurs groupes qui ne peuvent communiquer que par l'intermédiaire d'un groupe particulier appelé *hall*.

Ce bilan hydrique est réalisé après le calcul des systèmes d'émission.

Concernant les débits, on utilisera les mêmes conventions que dans la fiche calcul débit.

Le bilan hydrique du groupe pour une durée donnée correspond :

- à la masse d'eau dans l'air entrant et dans l'air sortant,
- aux apports internes d'humidité,
- à la déshumidification éventuelle sur la batterie froide.
- L'inertie hygroscopique des locaux est négligée.

Pour la déshumidification, la batterie est représentée à l'aide d'un facteur de bypass : l'air sortant de la batterie est considéré comme un mélange d'air à saturation à la température de la batterie, θ_{batt} et d'air non affecté par son passage.

8.3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 90 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul du bilan hydrique

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. int.	$A_{\omega\_int\_hors\_occ}(h)$	Apports internes d'humidité hors occupants dans le groupe, issus des scénarios.	kg/s
	$A_{\omega\_int\_occ}(h)$	Apports internes d'humidité des occupants, issus des scénarios.	kg/s
Calcul_débits	$Q_{maj}(h)$	Débits d'air sec entrant j dans le groupe au pas de temps h.	kg/s
	$\omega_{maj}(h)$	Humidité spécifique de l'air entrant j, pouvant être l'humidité extérieure, l'humidité en provenance des autres groupes, ou l'humidité issue d'un composant CTA.	kg/kg as
	$\omega_{i,g,fin}(h\text{-}1)$	Humidité absolue intérieure du groupe à la fin du pas de temps $h-1$	kg/kg as
Systèmes d'émission	$Rat_{eff\_fr}^{em}$	Part de l'énergie fournie au groupe effective assurée par l'émetteur en froid.	Réel
	$id_{bfr}(h)$	Indicateur de besoins de froid non-nuls dans le groupe.	Ent
	$Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h)$	Débit volumique de recirculation effectif sur la batterie froide de l'émetteur *em*.	kg/s
	$\omega_{sat}^{em}(h)$	Humidité spécifique à saturation pour la température de batterie $\theta_{batt.}$	kg/kg as

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
groupe	V	Volume du groupe	m^3	0	+∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$A_{\omega\_int}(h)$	Apports internes d'humidité totaux pour le groupe.	kg/s
$\Delta t_{hum}^{em}(h)$	Temps de déshumidification des différents émetteurs.	h

$\Delta t_{sec}^{em}(h)$	Temps nécessaires avant début de la déshumidification pour les différents émetteurs	h
$\omega_{i,g,fin,deshu\_perm}^{em}(h)$	Humidité spécifique du local associé à l'émetteur, en considérant une déshumidification tout au long du pas de temps.	kg/kg as
$\omega_{i,g,fin,\_sans\_deshu}^{em}(h)$	Humidité spécifique du local associé à l'émetteur, sans aucune déshumidification tout au long du pas de temps.	kg/kg as
$\omega_{i,g,moy\_deshu}^{em}(h)$	Humidité spécifique du local associé à l'émetteur sur la période où la déshumidification a effectivement lieu.	kg/kg as
$dt_{deshu}(h)$	Temps total de déshumification du pas de temps, en secondes.	s

Sorties

Nom	Description	Unité
$\omega_{i,g,fin}(h)$	Humidité absolue intérieure du groupe à la fin du temps h	kg/kg as
$\omega_{i,g,moy}(h)$	Humidité absolue intérieure moyenne du groupe à la fin du temps h.	kg/kg as
$Q_{sys\_lat}^{em}(h)$	Energie latente fournie par l'émetteur *em* au pas de temps h.	Wh
$Q_{sys\_lat}(h)$	Energie latente fournie par l'ensemble des émetteurs au pas de temps h.	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
L_{v_eau}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau à pression atmosphérique.	kJ/kg	2500

Tableau 90 : Nomenclature du modèle

8.3.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.3.3.1 ***Hypothèses et modèle mathématique***

La production de vapeur d'eau en cuisines, WC et salles de bains n'intervient pas dans le bilan hydrique car l'extraction est considérée comme directe.

Dans le cadre du bilan hydrique, on fait l'hypothèse que les débits d'air sec entrant sont égaux aux débits d'air sec sortant.

On connait au pas de temps t, l'humidité spécifique à la fin du pas de temps précédent. La variation d'humidité spécifique dans le groupe est décrite par l'équation différentielle en temps suivante :

$$\frac{d\omega_i}{dt} = \frac{\sum_j Q_{maj}\left(\omega_{maj} - \omega_{i,g}\right) + A_{\omega\,\mathrm{int}} + \sum_{em \in gr} Q^{em}_{m\_recirc\_eff} \times MIN\left(0; \omega^{em}_{sat} - \omega_{i,g}\right)}{\left(V \times \rho_{i,g}\right)} \quad (883)$$

Avec :

- Les Q^{g}_{maj} correspondent aux différents débits d'air entrant dans le groupe (kg/s) au pas de temps *h*.
- Les $Q^{em}_{m\_recirc\_eff}$ correspond aux débits de recirculation des émetteurs de froid à recyclage d'air, aux niveaux desquels peut avoir lieu une déshumidification dans le cas où l'humidité intérieure est supérieure à l'humidité de saturation de la batterie.

8.3.3.2 ***Fonctions de calculs***

Les apports internes totaux d'humidité spécifique sont calculés à partir des données issues des scénarios :

$$A_{\omega\,\mathrm{int}}(h) = A_{\omega\,\mathrm{int\_occ}}(h) + A_{\omega\,\mathrm{int\_hors\_occ}}(h) \quad (884)$$

On définit les fonctions de calculs suivantes, permettant la résolution du bilan hydrique tel que décrit ci-dessus :

- ***CalculHumiditeSpeFin***(Rat_{em_eff}(-), Q_{m_recirc}(kg/s), ω_{sat}(kg/kgas), T(s), ω_{ini}(kg/kgas))

Cette fonction calcule l'humidité spécifique ω_{fin} atteinte au bout d'un temps T à partir d'une humidité initiale ω_{ini}.

L'algorithme de la fonction est le suivant :

$$\begin{cases} A = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \left(\sum_j \left(Q_{maj}(h) \times \omega_{maj}(h) \right) + A_{\omega\,\mathrm{int}}(h) \right) + Q_{m\_recirc} \times \omega_{sat}}{Rat^{em}_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}} - \omega_{ini} \\ B = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}}{Rat_{em\_eff} . V . \rho_{i,g}(h-1)} \end{cases} \quad (885)$$

$$\omega_{fin} = \omega_{ini} + A \times \left(1 - e^{-B \times T}\right)$$

- ***CalculHumiditeSpeMoy***(Rat_{em_eff}(-), Q_{m_recirc}(kg/s), ω_{sat}(kg/kgas), T(s), ω_{ini}(kg/kgas))

Cette fonction calcule l'humidité spécifique ω_{moy} sur une période de durée T, obtenue à partir d'une humidité initiale ω_{ini}.

L'algorithme de la fonction est le suivant :

$$\begin{cases} A = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \left(\sum_j \left(Q_{maj}(h) \times \omega_{maj}(h) \right) + A_{\omega\,\mathrm{int}}(h) \right) + Q_{m\_recirc} \times \omega_{sat}}{Rat^{em}_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}} - \omega_{ini} \\ B = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}}{Rat_{em\_eff} . V . \rho_{i,g}(h-1)} \end{cases} \quad (886)$$

$$\omega_{moy} = \omega_{ini} + A \times \left(1 - \frac{1 - e^{-B \times T}}{B \times T}\right)$$

- ***CalculTemps***$(Rat_{em\_eff}(), Q_{m\_recirc}(kg/s), \omega_{sat}(kg/kgas), \omega_{ini}(kg/kgas), \omega_{fin}(kg/kgas))$

Cette fonction calcule la durée T nécessaire pour atteindre une humidité spécifique finale ω_{fin} à partir d'une humidité initiale ω_{ini}.

L'algorithme de la fonction est le suivant :

$$\begin{cases} A = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \left(\sum_j \left(Q_{maj}(h) \times \omega_{maj}(h) \right) + A_{\omega \text{int}}(h) \right) + Q_{m\_recirc} \times \omega_{sat}}{Rat^{em}_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}} - \omega_{ini} \\ B = \dfrac{Rat_{em\_eff} \cdot \sum_j Q_{maj}(h) + Q_{m\_recirc}}{Rat_{em\_eff} . V . \rho_{i,g}(h-1)} \\ C = 1 - \dfrac{\omega_{fin} - \omega_{ini}}{A} \end{cases} \quad (887)$$

$$T = -\frac{\ln(C)}{B}$$

8.3.3.3 *Variation de l'humidité spécifique dans le groupe en calcul du Bbio*

Le bilan hydrique intervient en aval du processus associé aux systèmes d'émission du groupe. $\omega_{i,g,fin}(h-1)$ vient alimenter la modélisation des échanges aérauliques entres groupes.

En calcul du coefficient BBio, la déshumidification sur les batteries froides n'intervient pas. En utilisant, les fonctions précédemment définies :

$$\omega_{i,g_{fin}}(h) = CalculHumiditeSpeFin(1(-), 0(kg/s), 0(kg/kga), 3600(s), \omega_{i,g_{fin}}(h-1)) \quad (888)$$

Où $T = 3600\ s$

Note :

- La valeur de l'humidité spécifique à la fin du pas de temps *h*, $\omega_{i,g_{fin}}$ est utilisée en entrée du bilan hydrique au pas de temps *h+1*.
- On notera aussi qu'au pas de temps $h+1$, la masse volumique $\rho_{i,g,prev}$ est calculée à partir $\omega_{i,g_{prev}}$ et $\theta_{i,g_{prev}}$ (du pas temps h) dans la fiche algorithme **C_VEN_Débits_d'Air**.
- A l'inverse, on peut calculer la durée requise pour atteindre une humidité spécifique donnée.

8.3.3.4 *Variation de l'humidité spécifique dans le groupe en calcul des consommations*

Le bilan hydrique intervient également en aval du processus associé aux systèmes d'émission du groupe. L'humidité spécifique au début du pas temps $\omega_{i,g,fin}(h-1)$ vient alimenter la modélisation des échanges aérauliques entres groupes.

En calcul des consommations le modèle de calcul global du groupe n'est plus valable dans la mesure où intervient la déshumidification au niveau des batteries des différents émetteurs froids.

L'air brassé par la batterie est considéré comme un mélange d'air à saturation à la température de la batterie, et d'air non-affecté par le passage. Le débit total d'air brassé, en contact direct avec la batterie, est appelé débit de recirculation (voir fiche ***C_Emi_Systèmes d'émission***).

Par simplification, on calcule indépendamment les évolutions de l'humidité spécifique dans les locaux desservis par des types d'émetteurs de froid différents, de volumes calculés à partir du Rat_{eff}^{em}. L'humidité spécifique du groupe à la fin du pas de temps est alors la moyenne pondérée des humidités spécifiques finales des locaux par leurs Rat_{eff}^{em}.

8.3.3.4.1 Processus pour chaque émetteur

Le processus suivant ne diffère de celui du calcul du *BBio* que si le groupe est desservi par un ou des émetteurs de froid, et que ceux-ci sont sollicités ($id_{bfr}(h)=1$).

Si $id_{bfr}(h)=0$, alors, *(le calcul est identique au calcul dans le cadre du BBio, avec une décomposition en locaux)*

$$\begin{cases} dt_{deshu}(h) = 0(s) \\ \omega_{i,g_{fin}}^{em}(h) = CalculHumiditeSpeFin(Rat_{em\_eff}^{em}, 0(kg/s), 0(kg/kgas), 3600(s), \omega_{i,g_{fin}}(h-1)) \\ \omega_{i,g_{moy\_deshu}}^{em}(h) = 0(kg/kgas) \end{cases}$$

Sinon,

Si $\omega_{i,g_{fin}}(h-1) \geq \omega_{sat}^{em}(h)$, alors, *(la déshumidification a lieu dès le début du pas de temps)*

$$\omega_{i,g,fin,deshu\_perm}^{em}(h) = CalculHumiditeSpeFin(Rat_{em\_eff}^{em}, Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h), \omega_{sat}^{em}(h), 3600(s), \omega_{i,g_{fin}}(h-1))$$

Si $\omega_{i,g,fin,deshu\_perm}^{em}(h) \geq \omega_{sat}^{em}(h)$, alors, *(il y a eu déshumidification tout au long du pas de temps)* (889)

$$\begin{cases} dt_{deshu}(h) = 3600(s) \\ \omega_{i,g,fin}^{em}(h) = \omega_{i,g,fin,deshu\_perm}^{em}(h) \\ \omega_{i,g,moy\_deshu}^{em}(h) = CalculHumiditeSpeMoy(Rat_{em\_eff}^{em}, Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h), \omega_{sat}^{em}(h), 3600(s), \omega_{i,g_{fin}}(h-1)) \end{cases}$$

Sinon, *(la déshumidification s'est arrêtée au bout d'un temps dt_{deshu})*

$$\begin{cases} dt_{deshu}(h) = CalculTemps(Rat_{em\_eff}^{em}, Q_{m\_recirc}^{em}(h), \omega_{sat}^{em}(h), \omega_{i,g_{fin}}(h-1), \omega_{sat}^{em}(h)) \\ \omega_{i,g,moy\_deshu}^{em}(h) = CalculHumiditeSpeMoy(Rat_{em\_eff}^{em}, Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h), \omega_{sat}^{em}(h), dt_{deshu}(h), \omega_{i,g_{fin}}(h-1)) \end{cases}$$

$$\begin{cases} dt_{\sec}(h) = 1 - dt_{deshu}(h) \\ \omega^{em}_{i,g,fin}(h) = CalculHumiditeSpeFin(Rat^{em}_{em\_eff}, 0(kg/s), \omega^{em}_{sat}(h), dt_{\sec}(h), \omega^{em}_{sat}(h)) \end{cases}$$

Sinon, *(la déshumidification n'a pas lieu au début du pas de temps)*

$$\omega^{em}_{i,g,fin,sans\_deshu}(h) = CalculHumiditeSpeFin(Rat^{em}_{em\_eff}, 0(kg/s), \omega^{em}_{sat}(h), 3600(s), \omega_{i,g_{fin}}(h-1))$$

Si $\omega_{i,g,fin,sans\_deshu}(h) \le \omega^{em}_{sat}(h)$, alors, *(la déshumidification n'a pas lieu du tout au cours du pas de temps)*

$$\begin{cases} dt_{deshu}(h) = 0(s) \\ \omega^{em}_{i,g,fin}(h) = \omega^{em}_{i,g,fin,sans\_deshu}(h) \\ \omega^{em}_{i,g,moy\_deshu}(h) = 0 \end{cases}$$

Sinon, *(la déshumidification se déclenche au bout d'un temps dt_{sec} et se poursuit jusqu'à la fin du pas de temps)*

$$\begin{cases} dt_{\sec}(h) = CalculTemps(Rat^{em}_{em\_eff}, 0(kg/s), \omega^{em}_{sat}(h), \omega_{i,g_{fin}}(h-1), \omega^{em}_{sat}(h)) \\ dt_{deshu}(h) = 3600 - dt_{\sec}(h) \\ \omega^{em}_{i,g,fin,}(h) = CalculHumiditeSpeFin(Rat^{em}_{em\_eff}, Q^{em}_{m\_recirc\_eff}(h), \omega^{em}_{sat}(h), dt_{deshu}(h), \omega^{em}_{sat}(h)) \\ \omega^{em}_{i,g,moy\_deshu}(h) = CalculHumiditeSpeMoy(Rat^{em}_{em\_eff}, Q^{em}_{m\_recirc\_eff}(h), \omega^{em}_{sat}(h), dt_{deshu}(h), \omega^{em}_{sat}(h)) \end{cases}$$

On en déduit l'énergie latente fournie par la batterie froide en déshumidification :

$$Q^{em}_{sys\_lat}(h) = -\frac{L_{v\_eau}}{3.6} \times dt_{deshu}(h) \times Q^{em}_{m\_recirc\_eff}(h) \times MAX\left(0; \omega^{em}_{i,g,moy\_deshu}(h) - \omega^{em}_{sat}(h)\right) \quad (890)$$

(Wh)

8.3.3.4.2 Humidité spécifique finale du groupe

L'humidité finale du groupe est la moyenne des humidités spécifiques des locaux desservis par des émetteurs de froid différents, pondérées par les Rat^{em}_{eff}.

$$\omega_{i,g,fin,}(h) = \sum_{em \in gr} Rat^{em}_{eff} . \omega^{em}_{i,g,fin}(h) \ \textit{(kg/kgas)} \quad (891)$$

8.3.3.4.3 Calcul de l'énergie latente de déshumidification du groupe

Au final, on calcule l'énergie latente de déshumidification de l'ensemble des émetteurs :

$$Q_{sys\_lat}(h) = \sum_{em} Q^{em}_{sys\_lat}(h) \ \textit{(Wh)} \quad (892)$$

8.4 C_Ein_Détermination des saisons de fonctionnement des systèmes de chaud et de froid

8.4.1 INTRODUCTION

La détermination des saisons de fonctionnement des réseaux intergroupes, de CTA et de la génération passe par une comparaison des valeurs de saisons de fonctionnement des différents groupes desservis par une même génération.

La génération doit être maintenue activée tant qu'au moins un des groupes qu'elle dessert se trouve en saison propre de fonctionnement. La procédure est indépendante pour le chauffage et pour le refroidissement.

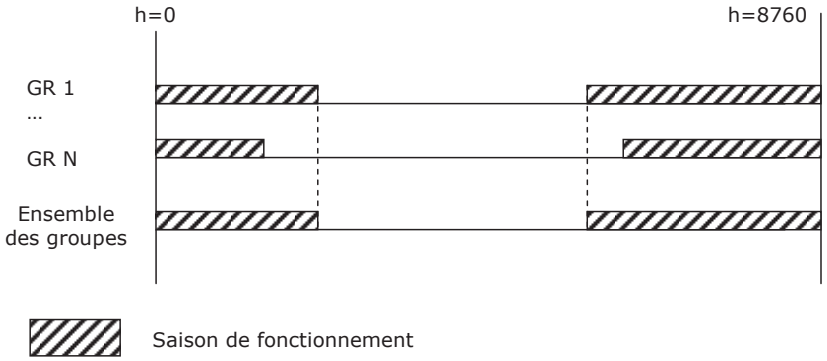


Figure 92: illustration de la procédure de détermination des saisons au niveau de la génération

Le principe est le même pour les réseaux de distribution intergroupes et des CTA.

Deux types de raccord entre la génération et les réseaux de distributions intergroupes sont pris en compte :

- **Raccordement permanent** : il est impossible de condamner un des réseaux de distribution de la génération. Les saisons de chauffage et de refroidissement effectives sont communes à l'ensemble des groupes reliés à la génération. Si l'arrêt de la saison de chauffage (ou de refroidissement) est signalé pour un de ces groupes, il continuera d'être chauffé (refroidi) tant que tous les groupes reliés n'auront pas atteints la fin de la saison de chauffage (ou de refroidissement)

- **Raccordement avec isolement hydraulique** : il est possible de condamner indépendamment les différents réseaux de distribution intergroupes au niveau de la génération. Les dates de début et de fin des saisons de chauffage et de refroidissement peuvent donc être différentes pour chacun des groupes reliés à la génération.

8.4.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 91 récapitule sous forme de nomenclature les différentes variables employées dans la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Projet	$IHJ(h)$	Heure solaire au pas de temps h.	h
C_Ein_Deter. des saisons	$Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$	Indicateur de saison de chauffage. *1 : le groupe est en saison de chauffage.*	Ent.
	$Aut_{fr,pro}^{gr}(j)$	Indicateur de saison de refroidissement. *1 : le groupe est en saison de refroidissement.*	Ent.

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Génération	$id_{raccord\_reseau}^{gen}$	Type de raccordement de la génération aux réseaux de distribution : *0 : Avec possibilité d'isolement* *1 : Permanent*	Ent	0	1	
Distributions primaires	$id_{fonction\_ch}^{dp}$	Fonction du réseau de distribution primaire : *1 : réseau pouvant assurer le chauffage.*	Ent	0	1	-
	$id_{fonction\_fr}^{dp}$	Fonction du réseau de distribution primaire : *1 : réseau pouvant assurer le refroidissement.*	Ent	0	1	-
Distributions secondaires	$id_{fonction\_ch}^{ds}$	Fonction du réseau de distribution secondaire : *1 : réseau secondaire pouvant assurer le chauffage.*	Ent	0	1	-
	$id_{fonction\_fr}^{ds}$	Fonction du réseau de distribution secondaire : *1 : réseau secondaire pouvant assurer le refroidissement.*	Ent	0	1	-
Gr.	i_{clim}^{gr}	Indicateur de groupe climatisé.	Ent	0	1	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$id_{desservi\_ch}^{gen,gr}$	Indicateur de desserte en chauffage du groupe *gr* par la génération *gen*.	Entier
$id_{desservi\_fr}^{gen,gr}$	Indicateur de desserte en refroidissement du groupe *gr* par la génération *gen*.	Entier

Sorties			
	Nom	**Description**	**Unité**
Emissions dist. du groupe	$Aut_{ch,eff}^{gr}(j)$	Indicateur de saison effective de chauffage pour le groupe *gr*.	Ent.
	$Aut_{fr,eff}^{gr}(j)$	Indicateur de saison effective de refroidissement pour le groupe *gr*.	Ent.
Distribution intergroupes	$Aut_{ch}^{dp}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en chaud	Ent.
	$Aut_{fr}^{dp}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en froid.	Ent.
CTA et dist. associées	$Aut_{ch}^{CTA}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en chaud pour la CTA et ses réseaux.	Ent.
	$Aut_{fr}^{CTA}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en froid pour la CTA et ses réseaux.	Ent.
Génération	$Aut_{ch}^{gen}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en chaud pour la génération.	Ent.
	$Aut_{fr}^{gen}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement en froid pour la génération.	Ent.

Tableau 91 : Nomenclature du modèle

8.4.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La procédure décrite ci-dessous est réalisée au pas de temps journalier (à chaque début de jour de simulation, tel que *IHJ(h) = 1*).

Elle n'est applicable que dans le cas d'un calcul des consommations (méthode Th-C).

Elle se situe en aval du calcul des saisons par groupe et en amont de la procédure associée aux systèmes (émissions, distribution, génération).

8.4.3.1 *Saison de fonctionnement de la génération*

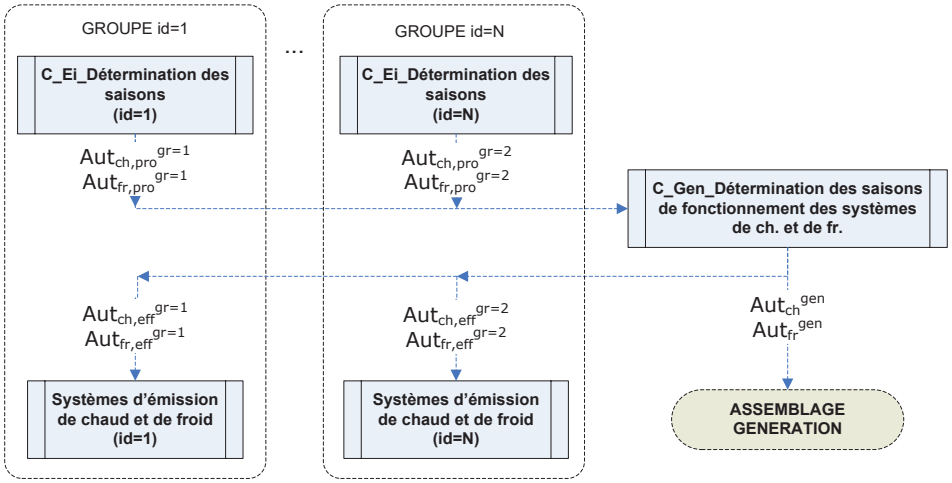


Figure 93: Agencement des composants

On détermine pour chaque génération les groupes desservis en chaud et en froid, au travers des indicateurs $id_{desservi\_ch}^{gen,gr}$ et $id_{desservi\_fr}^{gen,gr}$. Pour déterminer ces groupes, on prend en compte aussi bien les distributions intergroupes reliées à des systèmes d'émissions que celles reliées à des CTA.

La génération est maintenue activée tant qu'un groupe desservi par elle est en saison de fonctionnement. Les groupes non-climatisés ne sont pas pris en compte pour le refroidissement.

$$\begin{cases} Aut_{ch}^{gen}(j) = \underset{gr \leftarrow gen}{MAX}(id_{desservi\_ch}^{gen,gr}.Aut_{ch,pro}^{gr}(j)) \\ Aut_{fr}^{gen}(j) = \underset{gr \leftarrow gen}{MAX}(id_{desservi\_fr}^{gen,gr}.i_{c\lim}^{gr}Aut_{fr,pro}^{gr}(j)) \end{cases} \quad (893)$$

8.4.3.2 *Saisons de fonctionnement des groupes desservis*

Pour chacun des groupes du projet, on réalise la procédure suivante :

Si $\underset{gen \rightarrow gr}{MAX}(id_{raccord\_reseau}^{gen})$ *>0, alors, (le groupe est au moins desservi par une génération avec raccordement permanent des réseaux : il est dépendant des saisons d'une ou plusieurs générations)*

$$\begin{cases} Aut_{ch,eff}^{gr}(j) = \underset{gen \rightarrow gr}{MAX}(id_{desservi\_ch}^{gen,gr}.id_{raccord\_reseau}^{gen}.Aut_{ch}^{gen}(j)) \\ Aut_{fr,eff}^{gr}(j) = \underset{gen \rightarrow gr}{MAX}(id_{desservi\_fr}^{gen,gr}.id_{raccord\_reseau}^{gen}.Aut_{fr}^{gen}(j)) \end{cases} \quad (894)$$

Sinon, *(le groupe est indépendant en termes d'enclenchement saisonnier des systèmes de chauffage et de refroidissement)*

$$\begin{cases} Aut^{gr}_{ch,eff}(j) = Aut^{gr}_{ch,pro}(j) \\ Aut^{gr}_{fr,eff}(j) = Aut^{gr}_{fr,pro}(j) \end{cases} \quad (895)$$

8.4.3.3 *Saison de fonctionnement des réseaux intergroupes*

On déduit des informations de saisons par groupe celles des réseaux intergroupes.

$$\begin{aligned} Aut^{dp}_{ch,eff}(j) &= MAX(Aut^{gr}_{ch,eff}(j))_{gr \leftarrow dp} \\ Aut^{dp}_{fr,eff}(j) &= MAX(Aut^{gr}_{fr,eff}(j))_{gr \leftarrow dp} \end{aligned} \quad (896)$$

8.4.3.4 *Saison de fonctionnement des CTA (et réseaux de CTA)*

On déduit des informations de saisons par groupe celles des CTA et des réseaux intergroupes associés.

$$\begin{cases} Aut^{CTA}_{ch,eff}(j) = MAX(Aut^{gr}_{ch,eff}(j))_{gr \leftarrow CTA} \\ Aut^{CTA}_{fr,eff}(j) = MAX(Aut^{gr}_{fr,eff}(j))_{gr \leftarrow CTA} \end{cases} \quad (897)$$

8.5 C_Ein_Programmation des relances des systèmes

8.5.1 INTRODUCTION

La relance se traduit par un basculement des températures de consigne à leurs valeurs en occupation, quelques heures avant le basculement prévu par les scénarios.

Elle n'est appliquée que lors d'un calcul des consommations.

Il s'agit de retranscrire les consignes générées par les programmateurs qui relancent les systèmes de chauffage ou de froid pour atteindre les consignes de température dès l'arrivée des occupants.

Il convient ainsi de distinguer :

- les relances après une courte période d'inoccupation, inférieure à 48h, qui se déclenchent de manière quotidienne,

- les relances après une période d'inoccupation prolongée, supérieure à 48h, qui se déclenchent suite aux semaines d'absence, et de manière hebdomadaire pour certains usages (week-end).

8.5.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 92 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Uni
Météo	θ_{ext_base}	Température extérieure de base pour la zone géographique et l'altitude du projet.	°C
	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
Scénarios	$\{p_{ch}(t)\}_{t=h\ à\ h+6}$	Valeurs des pas de temps h à h+6 de l'indicateur de consigne de chauffage : *-1 : Consigne d'absence de plus de 48h,* *0 : Consigne d'absence de moins de 48h,* *1 : Consigne de présence.*	Ent.
	$\{p_{fr}(t)\}_{t=h\ à\ h+6}$	Valeurs des pas de temps h à h+6 de l'indicateur de consigne de refroidissement.	Ent.
Saisons	$Aut_{ch,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de chauffage pour le groupe *gr*.	Ent.
	$Aut_{fr,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de refroidissement pour le groupe *gr*.	Ent.

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Uni	Min	Max	Conv.
Programmation	$Type_{pgrm\_ch}$	Type de programmation de la relance pour le chauffage, s'appliquant à tous les systèmes reliés au groupe via des émetteurs.	Ent.	1	3	-
	$Type_{pgrm\_fr}$	Type de programmation de la relance pour le refroidissement, s'appliquant à tous les systèmes reliés au groupe via des émetteurs.	Ent.	1	3	-
Scénarios	$\theta_{ext\_reg\_sup}$	Limite de température extérieure au-delà de laquelle la durée de relance est nulle	°C	-	-	15
	θ_{iich_+}	Température de consigne de chauffage en occupation normale (confort)	°C	-∞	+∞	-
	θ_{iifr_+}	Température de consigne de refroidissement en occupation normale (confort)	°C	-∞	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Uni
Groupe	$i_{relance}^{gr}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h.	Ent.
Groupe	$\theta_{iich\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de chauffage défini par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
Groupe	$\theta_{iifr\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement défini par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
CTA	$i_{relance}^{CTA}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h pour un composant CTA donné.	Ent.

Variables internes

Nom	Description	Uni
$\Delta t_{relance\_ch}(h)$	Durée de la relance pour le chauffage exprimée en nombres d'heure.	h
$\Delta t_{relance\_fr}(h)$	Durée de la relance pour le refroidissement exprimée en nombres d'heure.	h
$\theta_{iich\_relance}(h\text{-}1)$	Température de consigne initiale de chauffage définie par le scénario de relance au pas de temps h-1.	°C
$\theta_{iifr\_relance}(h\text{-}1)$	Température de consigne initiale de refroidissement définie par le scénario de relance au pas de temps h-1.	°C

Tableau 92 : Nomenclature du modèle

8.5.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.5.3.1 *Types de programmation*

La relance est gérée par une programmation définie au niveau du groupe, pour le chaud et le froid indépendamment.

Pour le chauffage, on définit trois types de programmations possibles ($Type_{pgrm\_ch}$) :

- **1** : horloge à heure fixe,
- **2** : horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance,
- **3** : optimiseur.

Pour le refroidissement, on définit également trois types de programmations possibles ($Type_{pgrm\_fr}$) :

- **1** : horloge à heure fixe,
- **2** : horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance,
- **3** : pas d'horloge.

8.5.3.2 *Durées de relance selon les cas*

$Type_{pgrm\_ch}$	Type de programmation associé	Durée de relance : $\Delta t_{relance}$(h)	
		Inoccupation courte $p_{ch}(t)=0$	Inoccupation prolongée $p_{ch}(t)=-1$
1	Horloge à heure fixe	2 h	6 h
2	Horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance	2 h	4 h
3	Optimiseur	1 h	Variation linéaire en fonction de θ_{ext}, entre 0 et 3h *Voir ci-dessous.*

Tableau 93: Type de programmation et durée de relance en chauffage

$Type_{pgrm\_fr}$	Type de programmation associé	Durée de relance : $\Delta t_{relance}$(h)	
		Inoccupation courte $p_{fr}(t)=0$	Inoccupation prolongée $p_{fr}(t)=-1$
1	Horloge à heure fixe	1 h	3 h
2	Horloge à heure fixe associée à un contrôle d'ambiance	1 h	2 h
3	Sans horloge	0 h (fonctionnement permanent)	0 h (fonctionnement permanent)

Tableau 94: Type de programmation et durée de relance en refroidissement

La durée de relance en chauffage n'est calculée que pendant la saison de fonctionnement des systèmes de chauffage du groupe ($Aut_{ch,eff}(j)=1$).

La durée de relance en refroidissement n'est calculée que pendant la saison de fonctionnement des systèmes de refroidissement du groupe ($Aut_{fr,eff}(j)=1$).

Pour le chauffage, lorsqu'on est en présence d'un optimiseur, suite à une inoccupation prolongée, le temps de relance varie de manière linéaire entre 0 et 3h, en fonction de la température extérieure du pas de temps *h*.

On arrondit $\Delta t_{relance}(h)$ à la valeur entière la plus proche :

$$\Delta t_{relance\_ch}(h) = ARRONDI\left(\frac{3(heures)}{\theta_{ext\_base} - \theta_{ext\_reg\_sup}} \times (\theta_{ext}(h) - \theta_{ext\_reg\_sup})\right)$$

$$Si \quad \Delta t_{relance\_ch}(h) \geq 3 \text{, alors, } \Delta t_{relance\_ch}(h) = 3(h)$$

$$Si \quad \Delta t_{relance\_ch}(h) \leq 0 \text{, alors, } \Delta t_{relance\_ch}(h) = 0(h) \qquad (898)$$

8.5.3.3 *Détermination des températures de consigne de relance*

Valeurs initiales ($h=0$) :

$$\theta_{iich\_relance}(h=0) = 0\ (°C)$$
$$\theta_{iifr\_relance}(h=0) = 100\ (°C) \qquad (899)$$

A chaque pas de temps de simulation au-delà du pas de temps initial, il faut réaliser les processus suivants :

Pour le chauffage : le calcul n'a lieu qu'en saison de fonctionnement des systèmes de chauffage ($Aut_{ch,eff}(j)=1$). En dehors, $\theta_{iich\_relance}(h) = 0\ °C$.

Si $p_{ch}(h) < 1$, alors,

Si $\theta_{iich\_relance}(h-1) < \theta_{iich\_+}$, *alors,*

Si $p_{ch}(h+\Delta t_{relance}(h)) = 1$ et $p_{ch}(h+\Delta t_{relance}(h)-1) < 1$, alors,

$\theta_{iich\_relance}(h) = \theta_{iich\_+}$

Sinon,

$\theta_{iich\_relance}(h) = 0\ (°C)$ (900)

Sinon,

$\theta_{iich\_relance}(h) = \theta_{iich\_relance}(h-1)\ (°C)$

Sinon,

$\theta_{iich\_relance}(h) = 0\ (°C)$

Pour le refroidissement : le calcul n'a lieu qu'en saison de fonctionnement des systèmes de refroidissement ($Aut_{fr,eff}(j)=1$). En dehors, $\theta_{iifr\_relance}(h) = 100$ °C .

Si $p_{fr}(h) < 1$, alors,

Si $Type_{pgrm\_fr} < 3$ alors,

Si $\theta_{iifr\_relance}(h-1) > \theta_{iifr\_+}$, *alors,*

Si $p_{fr}(h+\Delta t_{relance}(h)) = 1$ et $p_{fr}(h+\Delta t_{relance}(h)-1) < 1$, alors,

$\theta_{iifr\_relance}(h) = \theta_{iifr\_+}$

Sinon,

$\theta_{iifr\_relance}(h) = 100$ (°C) (901)

Sinon,

$\theta_{iifr\_relance}(h) = \theta_{iifr\_relance}(h-1)$

Sinon,

$\theta_{iifr\_relance}(h) = \theta_{iifr\_+}$

Sinon,

$\theta_{iifr\_relance}(h) = 100$ (°C)

En fonctionnement permanent ($Type_{pgrm\_fr}$ =3 : Sans horloge), la température de consigne de refroidissement est fixée de manière permanente à sa valeur en occupation, soit θ_{iifr_+} (voir algorithme ci-dessus), durant toute la saison de refroidissement.

8.5.3.4 *Indicateurs de phase de relance au niveau du groupe*

Cet indicateur intervient dans la détermination du régime de fonctionnement des ventilateurs locaux des émissions équivalentes du groupe :

Si $\theta_{iich\_relance}(h) > 0$ ou $\theta_{iifr\_relance}(h) < 100$, alors,

$i_{relance}^{gr}(h) = 1$ (902)

Sinon,

$i_{relance}^{gr}(h) = 0$

8.5.3.5 *Indicateurs de phase de relance au niveau des centrales de traitement d'air*

Une centrale de traitement d'air (noté CTA) peut irriguer un ou plusieurs groupes. Ses phases de relance sont directement liées aux phases de relance de ces groupes :

$$i_{relance}^{CTA}(h) = \underset{gr \Leftrightarrow CTA}{MAX}(i_{relance}^{gr}(h)) \quad (903)$$

8.6 S1_Dist_Assemblage des systèmes de chauffage et de refroidissement

8.6.1 INTRODUCTION

Les systèmes de chauffage et de refroidissement regroupent l'ensemble des composants qui permettent de subvenir aux besoins d'énergie des différents groupes du projet.

Les systèmes sont constitués :

- Des **émetteurs de chaud ou de froid**, situés au niveau du groupe, et qui font office d'interface entre comportement thermique du groupe et systèmes,
- Des **réseaux de distribution du groupe et inter-groupes**, qui génèrent des pertes et transmettent l'information d'énergie requise aux générations,
- Des **générateurs de chaud ou de froid**, organisées sous forme d'un assemblage génération décrit dans la fiche du même nom.

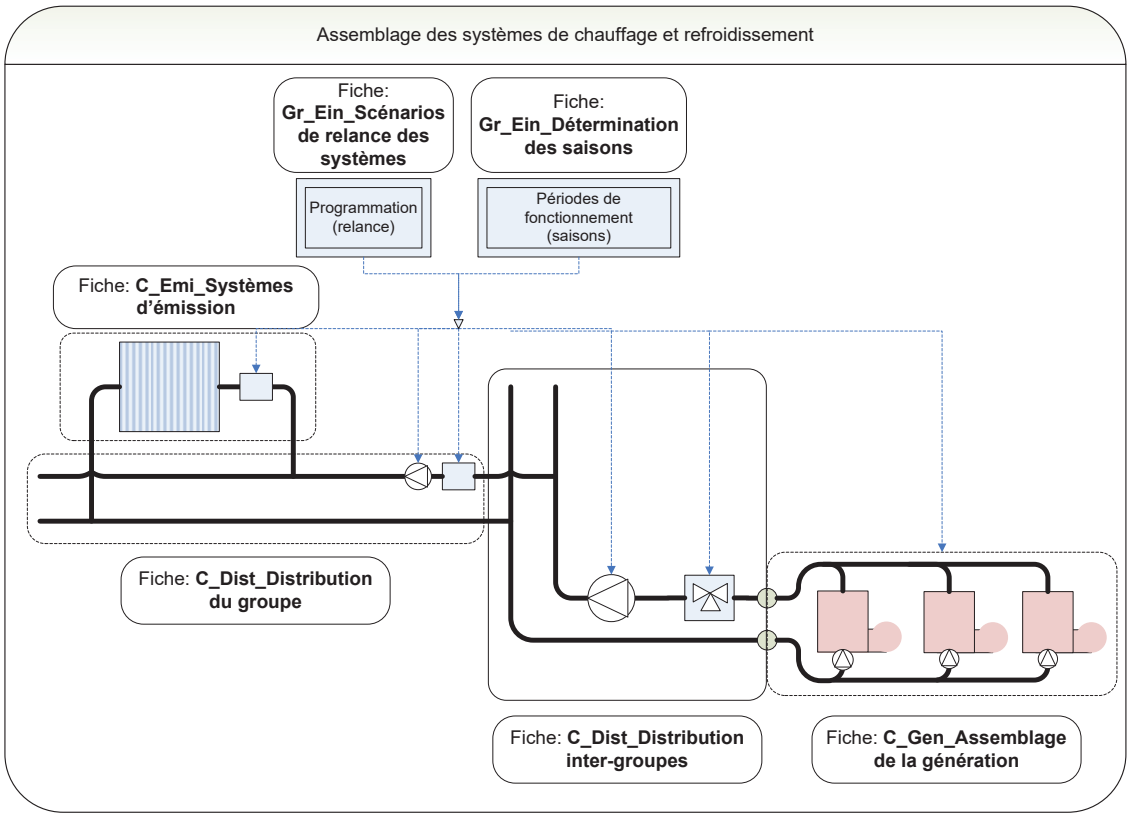


Figure 94: Assemblages des systèmes de chauffage et de refroidissement

8.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 95 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Météo (projet)	θ_{ext_base}	Température extérieure de base du site accueillant le projet.	°C
	$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure d'air sec au pas de temps *h*.	°C
Scénarios (zone)	$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur d'occupation au temps h : *1 : zone en occupation* *0 : zone en inoccupation*	Ent.
	$i_{occ\_zone}(h\text{-}1)$	Indicateur d'occupation au temps h-1 : *1 : zone en occupation* *0 : zone en inoccupation*	Ent.
	$\theta_{iich}(h)$	Température de consigne initiale de chauffage au pas de temps h.	°C
	$\theta_{iifr}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement au pas de temps h	°C
Saison (groupe)	$Saison_{eff}(j)$	Saison effective au groupe au jour *j*.	Ent.
Relance (groupe)	$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h.	Ent.
	$\theta_{iich\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de chauffage définie par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
	$\theta_{iifr\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement définie par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
Comportement thermique (groupe)	*Matrice des températures du groupe*	Matrice des températures moyennes aux différents nœuds de températures du groupe pour des puissances convectives et radiatives de 0 et 10kW: $\theta_{i,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{i,moy(0;10)}(h)$, $\theta_{i,moy(10;0)}(h)$ $\theta_{s,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{s,moy(0;10)}(h)$ $\theta_{s,moy(10;0)}(h)$ $\theta_{m,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{m,moy(0;10)}(h)$,$\theta_{m,moy(10;0)}(h)$ $\theta_{rm,moy(0;0)}(h)$,$\theta_{rm,moy(0;10)}(h)$,$\theta_{rm,moy(10;0)}(h)$ $\theta_{op,moy(0;0)}(h)$, $\theta_{op,moy(0;10)}(h)$,$\theta_{op,moy(10;0)}(h)$	°C

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Groupe	A^{gr}	Surfaces utiles des groupes du bâtiment.	m²	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Emissions équivalentes		Paramètres de l'émetteur équivalent de chaud (voir fiche Sn_Emi_Systèmes d'émissions).	-	-	-	-
		Paramètres de l'émetteur équivalent de froid (voir fiche Sn_Emi_Systèmes d'émissions).	-	-	-	-
		Paramètres des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe (voir fiche Sn_Emi_Systèmes d'émissions).	-	-	-	-
Distributions du groupe		Paramètres des gestions/régulations des distributions du groupe.	-	-	-	-
		Paramètres physiques des distributions du groupe.	-	-	-	-
Distributions inter-groupes		Paramètres des gestions/régulations des distributions inter-groupes.	-	-	-	-
		Paramètres physiques des distributions inter-groupes	-	-	-	-
Distributions de CTA		Paramètres des gestions/régulations des distributions intergroupes de CTA.	-	-	-	-
		Paramètres physiques des distributions intergroupes de CTA.	-	-	-	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Ventilateurs locaux	$W_{vent\_loc\_tot}(h)$	Consommation électrique totale des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe.	Wh
	$\Phi_{vent\_loc}(h)$	Energie consommée par les ventilateurs locaux de l'ensemble des émetteurs du groupe et récupérables par le groupe sous forme de chaleur.	Wh
Distributions du groupe	$W_{aux}^{ds}(h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
	$\Phi_{aux\_vc}^{ds}(h)$	Energie consommée par le circulateur et récupérable par les groupes sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh

Distributions inter-groupes	$\Phi_{pertes\_vc}^{ds}(h)$	Pertes de distribution du réseau du groupe vers des locaux chauffés appartenant au groupe (pertes récupérables).	Wh
	$W_{aux}^{dp}(h)$	Energie dépensée par le circulateur du réseau de distribution inter-groupe au pas de temps h.	Wh
	$\Phi_{aux\_vc}^{dp}(h)$	Energie consommée par le circulateur et récupérable par les groupes sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}^{dp}(h)$	Pertes de distribution du réseau inter-groupe vers des locaux chauffés appartenant (pertes récupérables).	Wh
Assemblage génération	$\theta_{moy}^{dp}(h)$ $\theta_{moy}^{dCTA}(h)$	Températures moyennes des différents réseaux de chauffage et de refroidissement.	°C
	$\theta_{dep}^{dp}(h)$ $\theta_{dep}^{dCTA}(h)$	Températures de départ des différents réseaux de chauffage et de refroidissement.	°C
	$Q_{sys\_ch}^{dp}(h)$ $Q_{sys\_ch}^{dCTA}(h)$	Besoins horaires en chauffage augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes de chauffage	Wh
	$Q_{sys\_fr}^{dp}(h)$ $Q_{sys\_fr}^{dCTA}(h)$	Besoins horaires en chauffage augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes.	Wh
	$id_{relance}^{dp}(h)$ $id_{relance}^{dCTA}(h)$	Indicateurs de période de relance pour les différents réseaux intergroupes de chaud et de froid.	Bool

Tableau 95 : Nomenclature du modèle

8.6.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.6.3.1 *Assemblage avec des systèmes d'émissions*

L'assemblage des systèmes de chauffage et de refroidissement est constitué de plusieurs sous-assemblages communiquant entre eux.

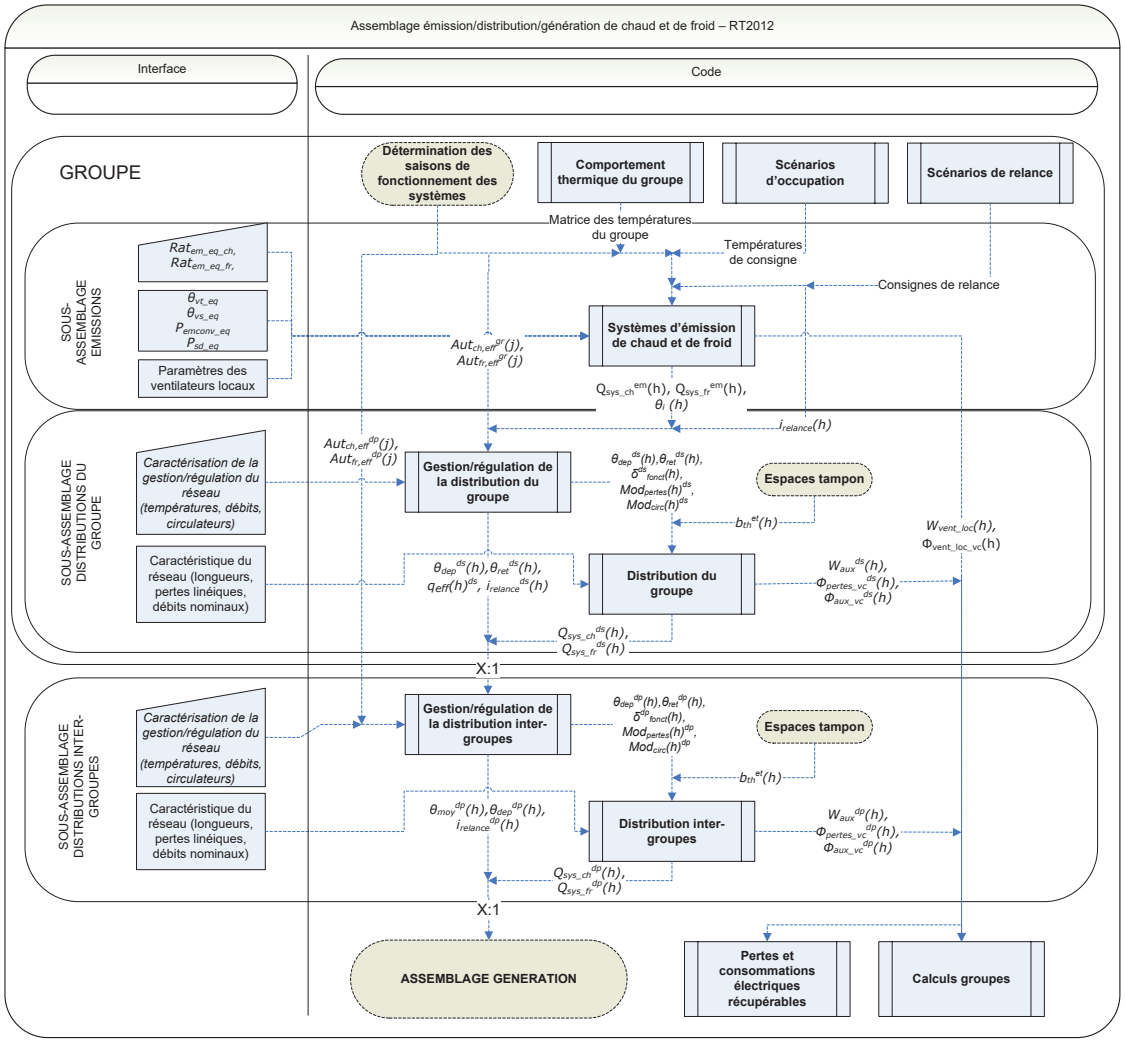


Figure 95: Assemblage des composants des systèmes de chauffage et de refroidissement

On distingue les sous-assemblages suivants :

- Le module **systèmes d'émission**, définis au niveau du groupe. Il a pour fonction le calcul de la demande horaire en énergie du groupe sur la base des informations de scénarios, de saisons et de relance. Le système d'émission d'un groupe peut associer plusieurs types d'émetteurs, utilisés sur des locaux différents ou en association dans un même local.

- L'assemblage **distributions du groupe**. Chaque émetteur est associé à un ou à un couple de réseaux de distributions du groupe (chauffage et refroidissement) ; ces derniers sont modélisés à l'aide d'un composant *gestion/régulation de la distribution du groupe et* d'un composant *distribution du groupe*. Le premier a pour rôle le calcul des températures et débits du réseau en fonction des paramètres de gestion introduits par l'utilisateur ; le second réalise le calcul des pertes du réseau et de l'énergie électrique consommée par les circulateurs (auxiliaires de distribution).

- L'assemblage **distributions inter-groupe**. Il permet de décrire un niveau supplémentaire dans l'arborescence des réseaux, en réalisant la connexion entre réseaux de distributions des groupes et générations. Un réseau de distribution intergroupe est également modélisé à l'aide d'un composant *gestion/régulation de la distribution et* d'un composant *distribution* (voir le paragraphe sur les distributions du groupe).

- L'assemblage **génération**, décrit séparément, modélise les systèmes de production d'énergie.

Les diverses sorties des assemblages sont :

- Les consommations d'auxiliaires de ventilation associées aux ventilateurs locaux et aux circulateurs de distribution. Ces données sont regroupées et sommées dans la fiche ***Calculs groupe***.

- Les pertes et consommations récupérables par le volume chauffé sous forme de chaleur ou de puissance de froid. Ces dernières sont regroupées et sommées dans la fiche ***Calcul des pertes et consommations récupérées***. Au pas de temps suivant, elles sont ensuite transmises sous formes d'apports internes aux groupes desservis.

- Les demandes en chaud et en froid $Q_{sys\_ch}^{dp}(h)$ et $Q_{sys\_fr}^{dp}(h)$, les températures de réseau (moyenne et de départ), et les indicateurs temporels (saison et relance). Toutes ces informations alimentent l'**Assemblage génération**.

8.6.3.2 *Assemblage en présence d'une CTA*

Une CTA est associée à ses réseaux propres, indépendants du reste des réseaux de distribution, pour la prise en compte des consommations de préchauffage, prérefroidissement, humidification et antigel.

Les réseaux de CTA sont intergroupes. La demande est calculée au niveau des composants CTA.

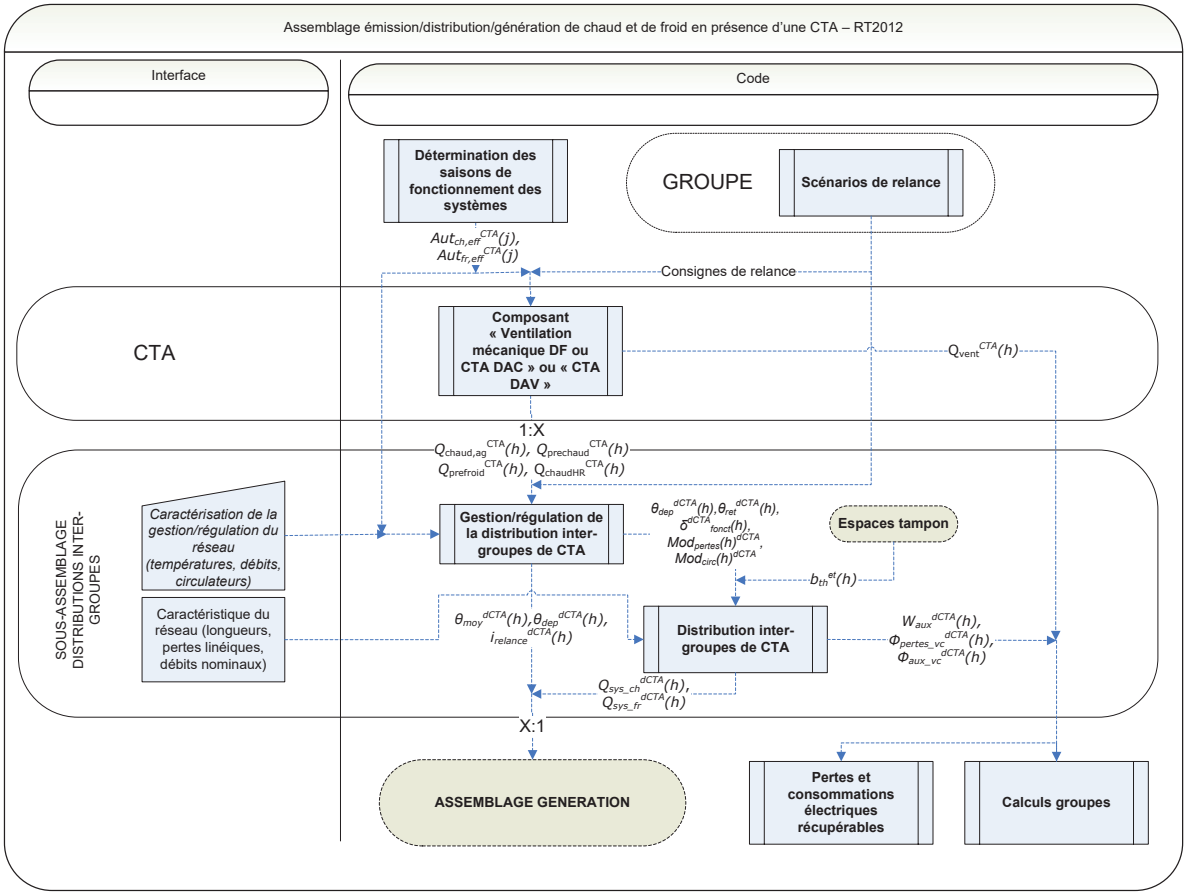


Figure 96 : Assemblage des composants des systèmes associés à une CTA

Le module **composant CTA**, défini au niveau de la zone, a notamment pour fonction le calcul des besoins en prérefroidissement, préchauffage, humidification et antigel, à partir des consignes de températures et d'humidités, ainsi que des modes de gestion, définis pour le système CTA.

8.7 C-DIST-Gestion/régulation des distributions de chauffage et de refroidissement du groupe

8.7.1 INTRODUCTION

Les composants distributions du groupe représentent les réseaux de distribution locaux, en contact direct avec les systèmes d'émissions. Ils sont déclinés selon leur fonction : réseau de chauffage ou réseau de refroidissement.

Les règles de modélisation sont les suivantes :

- En l'absence de conduite de distribution hydraulique, c'est-à-dire pour l'ensemble des systèmes sur air tels que les pompes à chaleur à détente directe, les convecteurs et radiateurs électriques et les poêles à bois, un composant distribution du groupe de type fictif est introduit, afin de lier la description des systèmes d'émission et de génération.

- Un composant émetteur à fonction unique (chauffage seul ou refroidissement seul) est associé à un et un seul composant distribution du groupe partageant sa fonction,

- Un composant émetteur chauffant/rafraîchissant (par exemple plancher, plafond, ventilo-convecteur) est associé à un composant distribution du groupe de chauffage et un composant distribution du groupe de refroidissement. Cette règle est valable aussi bien pour les réseaux fictifs, que pour les réseaux hydrauliques 4 tubes (conduites de chauffage et refroidissement matériellement séparées) et 2 tubes « réversible » (une seule conduite assurant chauffage et refroidissement en alternance selon les périodes).

  Note : dans ce dernier cas, la description des caractéristiques physiques de la conduite unique est effectuée deux fois.

Dans le cas d'un réseau hydraulique, les données suivantes sont calculées :

- Température de départ,
- Débit volumique, chute de température dans les émetteurs, et température retour,
- Réduction de pertes liée à un fonctionnement intermittent,
- Coefficient de régulation des circulateurs.

La régulation de la puissance à fournir peut avoir lieu soit sur le débit (débit variable), soit sur l'écart de température départ/retour (débit constant), soit sur l'intermittence (système en tout ou rien).

On considère qu'en parallèle le système opère un contrôle sur la température en un point du réseau : température de départ constante, température de retour constante, ou température de départ fonction des conditions extérieures (en chauffage uniquement).

8.7.2 NOMENCLATURE

Le **Tableau 96** donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	θ_{ext_base}	Température extérieure de base pour la zone géographique et l'altitude du projet.	°C
	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
Groupe	$i_{relance}^{gr}(h)$	Indicateur de période de relance du groupe au pas de temps h.	Ent.
	$\theta_{i,moy}^{gr}(h)$	Température de l'air intérieur moyenne dans le groupe au pas de temps h (après croisement).	°C
Systèmes d'émission	$Q_{sys\_ch}^{em}(h)$	Energie requise de chauffage, transmise par l'émetteur *em* à son réseau de distribution au pas de temps h.	Wh
	$Q_{sys\_fr}^{em}(h)$	Energie requise de refroidissement, transmise par l'émetteur *em* à son réseau de distribution au pas de temps h.	Wh

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution du groupe : *1 : chauffage* *2 : refroidissement*	Ent.	0	1	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Gestion du réseau de distribution	id_{type}	Type de réseau de distribution du groupe : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique.*	Ent.	0	1	-
	id_{type}^{dp}	Type de réseau de distribution intergroupes associé.	Ent.	0	1	-
	id_{debit_ch} ou id_{debit_fr}	Mode de régulation de fonctionnement : *1 : Régulation à débit constant et fonctionnement continu,* *2 : Régulation à débit constant et fonctionnement intermittent,* *3 : Régulation à débit variable.*	Ent.	1	3	-

Températures de dimensionnement	id_{gest_ch} ou id_{gest_fr}	Mode de régulation de la température du réseau du groupe.	Ent	1	3	-
	$\theta_{ext\_lim\_ch}$	Limite de température extérieure au-delà de laquelle la température de départ adopte sa valeur minimale, en chauffage.	°C	-	-	15
	$\theta_{dep\_ch\_min}$	Valeur minimale de température de départ du réseau du groupe en chauffage en fonctionnement.	°C	-	-	20
	$\theta_{dep\_dim\_ch}$ ou $\theta_{dep\_dim\_fr}$	Température de départ de dimensionnement (pour les modes à température de départ constante ou modulation en fonction de la température extérieure).	°C	-∞	+∞	-
	$\theta_{ret\_dim\_ch}$ ou $\theta_{ret\_dim\_fr}$	Température de retour de dimensionnement (pour les modes à température de retour constante).	°C	-∞	+∞	-
	$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}$ ou $\Delta\theta_{em\_dim\_fr}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement en chauffage.	°C	-∞	+∞	-
	q_{resid}	Débit résiduel minimal du réseau du groupe dans le cas d'une régulation à débit variable.	m³/h	-∞	+∞	-
	q_{nom_ch} ou q_{nom_fr}	Débit volumique nominal dans le réseau du groupe.	m³/h	-∞	+∞	-
Gestion des circulateurs	id_{circ_ch} ou id_{circ_fr}	Mode de régulation du circulateur du réseau du groupe en chauffage : *0 : Pas de circulateurs,* *1 : Vitesse constante,* *2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle constante,* *3 : Vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau.*	Ent.	0	3	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Période de relance	$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre au réseau de distribution intergroupes.	Ent.
Distrib du gr.	θ_{dep} (h)	Température du départ du réseau du groupe au pas de temps h.	°C
	θ_{ret} (h)	Température du retour du réseau du groupe au pas de temps h.	°C

	$q_{eff}(h)$	Débit volumique effectif totale dans le réseau du groupe.	m³/h
	$\delta_{fonct}(h)$	Indicateur de fonctionnement du réseau de distribution.	Ent.
	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes de réseaux en fonction de leur gestion.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation de la puissance des circulateurs en fonction de leur mode de gestion.	Réel

Variables internes

	Nom	Description	Unité
	$q_{req}(h)$	Débit volumique requis pour fournir l'énergie au groupe au pas de temps h.	m³/h
	$\Delta\theta_{em}$(h)	Ecart de température dans le réseau du groupe entre départ et retour.	°C

Constantes

	Nom	Description	Unité	Conv.
Propriétés de l'eau	ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau liquide dans les conditions standards de pression et de température (P = 1atm, T=20°C).	kg/m$_3$	998
	C_{p_eau}	Capacité thermique massique de l'eau liquide dans les conditions standards de pression et de température (P = 1atm, T=20°C).	Wh/(kg.°C)	1.163

Tableau 96 : Nomenclature du modèle

8.7.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.7.3.1 ***Cohérence avec le réseau de distribution intergroupes***

Un réseau de distribution du groupe doit être connecté à un et un seul réseau de distribution intergroupes.

Le réseau de groupe et celui intergroupes doivent alors avoir les mêmes fonctions. Les conditions à vérifier sont:

$$\begin{cases} id_{fonction\_ch} = id^{dp}_{fonction\_ch} \\ ou \\ id_{fonction\_fr} = id^{dp}_{fonction\_fr} \end{cases} \quad (904)$$

Le type du réseau du groupe doit être celui du réseau de distribution intergroupes. La condition à vérifier est :

$$id_{type} = id^{dp}_{type} \quad (905)$$

8.7.3.2 ***Lien avec la programmation des relances***

La distinction entre période de fonctionnement normale et période de relance est réalisée sur la base de l'indicateur suivant, connu au niveau du groupe :

$$id_{relance} = id^{gr}_{relance} \quad (906)$$

8.7.3.3 *Description des processus de calculs*

Selon les valeurs de id_{type} et $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	id_{fonct_ch}	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.7.3.3.1***
1	$id_{fonction}$ =1	Chauffage uniquement	***Voir 8.7.3.3.2***
	$id_{fonction}$ =2	Refroidissement uniquement	***Voir 8.7.3.3.3***

Tableau 97: Récapitulatif de l'appel des procédures

8.7.3.3.1 Cas d'un réseau fictif (id_{type}=0)

En l'absence de fluide caloporteur liant la génération aux systèmes d'émission (cas des générateurs sur air ambiant), le lien entre émetteur et génération est modélisé par un réseau de distribution fictif, sans pertes ni consommations d'auxiliaires.

Cela concerne :

- L'ensemble des dispositifs de chauffage à effet joule,
- Les générateurs d'air chaud,
- Les poêles et inserts,
- Les PAC à détente directe.

Les données de sortie sont les suivantes :

$$\theta_{dep}(h) = 0\ (°C)$$
$$\theta_{ret}(h) = 0\ (°C)$$
$$Mod_{pertes}(h) = 0$$
$$Mod_{circ}(h) = 0 \quad (907)$$
$$q_{eff}(h) = 0\ (m^3/h)$$
$$\delta_{fonct}(h) = 0$$

8.7.3.3.2 Réseau hydraulique de chauffage (id_{type}=1, $id_{fonction}$ =1)

8.7.3.3.2.1 Températures de dimensionnement

Les températures de dimensionnement sont saisies par l'utilisateur, ainsi que les écarts nominaux de températures entre branche départ et retour.

8.7.3.3.2.2 Indicateur de fonctionnement

Le fonctionnement des réseaux est asservi à la demande de chauffage issue des émetteurs :

Si $Q_{sys\_ch}(h) > 0$ (Wh), alors, *(réseau en fonctionnement)*

$$\delta_{fonct}(h) = 1$$

Sinon,

$$\delta_{fonct}(h) = 0 \quad (908)$$

8.7.3.3.2.3 Débit requis et diminution de température de fluide suite au passage dans les émetteurs

Le calcul diffère selon les modes de gestion. On utilise toujours un bilan énergétique au niveau de l'émetteur, et on calcule les grandeurs inconnues à partir des grandeurs fixées par le mode de gestion.

Si $\delta_{fonct}(h) = 1$, alors, *(réseau en fonctionnement)*

Si $id_{debit\_ch}(h) = 3$, *alors, (réseau à débit variable)*

$$\begin{cases} q_{req}(h) = \dfrac{Q_{sys\_ch}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}.\Delta\theta_{em\_\dim\_ch}} \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{req}(h); q_{resid}) \\ Mod_{pertes}(h) = 1 \\ \Delta\theta_{em}(h) = \dfrac{Q_{sys\_ch}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}q_{eff}(h)} \end{cases} \quad (909)$$

Sinon, si $id_{debit\_ch}(h) = 2$, *alors, (réseau à débit constant et fonctionnement intermittent)*

$$\begin{cases} \Delta\theta_{em}(h) = \Delta\theta_{em\_\dim\_ch} \\ q_{req}(h) = q_{nom\_ch} \\ q_{eff}(h) = q_{nom\_ch} \\ Mod_{pertes}(h) = MIN(1; \dfrac{Q_{sys\_ch}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}q_{nom\_ch}.\Delta\theta_{em}(h)}) \end{cases} \quad (910)$$

Sinon, *(réseau à débit constant et fonctionnement continu)*

$$\begin{cases} \Delta\theta_{em}(h) = \dfrac{Q_{sys\_ch}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}q_{nom\_ch}} \\ q_{req}(h) = q_{nom\_ch} \\ q_{eff}(h) = q_{nom\_ch} \\ Mod_{pertes}(h) = 1 \end{cases} \quad (911)$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} q_{req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ \Delta\theta_{em}(h) = 0(°C) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases} \quad (912)$$

8.7.3.3.2.4 Température de départ

La température du fluide en tout point de la branche de départ est considérée constante, égale à $\theta_{dep}(h)$. Du point de vue du calcul règlementaire, on considère comme infinie la puissance des émetteurs, et ce quelque soit la température d'eau chaude circulant dans les réseaux de distribution. La température de départ des réseaux est conventionnellement calculée à part selon un mode de régulation parmi les trois ci-dessous.

Les modes de gestion suivants sont pris en compte :

8.7.3.3.2.5 Cas id_{gest_ch}=1 : température de départ constante

$$\theta_{dep}(h) = \delta_{fonct}(h).\theta_{dep\_dim\_ch} + (1-\delta_{fonct}(h)).\theta^{gr}_{i,moy}(h) \quad (913)$$

8.7.3.3.2.6 Cas id_{gest_ch} =2 : température de retour constante

$$\theta_{dep}(h) = \delta_{fonct}(h).(\theta_{ret\_dim\_ch} + \Delta\theta_{em}(h)) + (1-\delta_{fonct}(h)).\theta^{gr}_{i,moy}(h) \quad (914)$$

8.7.3.3.2.6.1 Cas id_{gest_ch}=3 : modulation en fonction de la température extérieure

Lorsque le réseau est en fonctionnement, la température de départ moyenne sur le pas de temps est calculée en fonction de la température extérieure, selon le profil suivant :

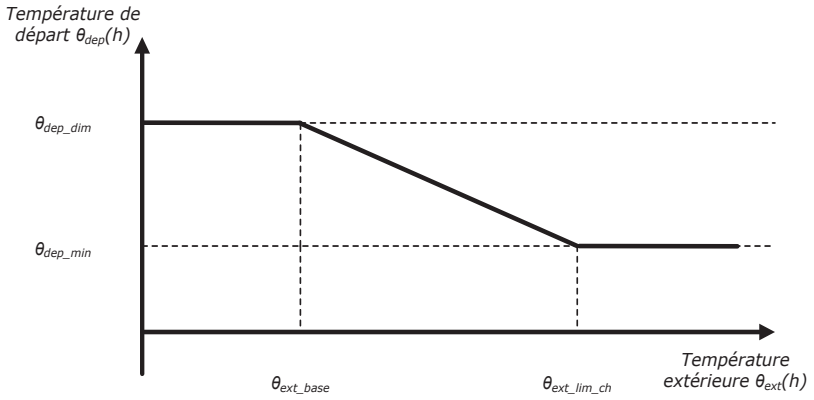


Figure 97 : Evolution de la température de départ en fonction de la température extérieure

L'algorithme correspondant est le suivant :

Si $\delta_{fonct}(h) = 1$, alors,

Si $\theta_{ext}(h) \geq \theta_{ext\_lim\_ch}$,

$$\theta_{dep}(h) = MAX(\theta_i(h) + \Delta\theta_{em}(h); \theta_{dep\_ch\_min})$$

Si $\theta_{ext}(h) \leq \theta_{ext\_base}$,

$$\theta_{dep}(h) = \theta_{dep\_dim\_ch}$$

Si $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext\_base}$ et $\theta_{ext}(h) < \theta_{ext\_lim\_ch}$, (915)

$$\theta_{dep}(h) = MAX\left(\begin{array}{l}\theta_{i,moy}^{gr}(h) + \Delta\theta_{em}(h); \\ \theta_{dim\_ch} + \dfrac{\theta_{dep\_ch\_min} - \theta_{dep\_dim\_ch}}{\theta_{ext\_lim\_ch} - \theta_{ext\_base}} \times (\theta_{ext}(h) - \theta_{ext\_base}))\end{array}\right)$$

Sinon,

$$\theta_{dep}(h) = \theta_{i,moy}^{gr}(h)$$

8.7.3.3.2.7 Gestion des circulateurs en chauffage

On considère trois types de circulateurs possibles : à vitesse constante, à vitesse variable avec maintien de la pression différentielle constante, et à vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau.

Note : Les circulateurs à vitesse variable ne sont pris en compte que dans le cadre d'un réseau à débit variable.

Si id_{circ_ch}=0, alors,

$$Mod_{circ}(h) = 0$$

Si id_{circ_ch} =1, alors, (circulateurs à vitesse constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h)$$

Si id_{circ_ch}=2, alors, (circulateurs à vitesse variable et maintien du réseau à pression différentielle constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (916)$$

Si id_{circ_ch}=3, alors, (circulateurs à vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(0.5\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}} + 0.5\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}}\right)^2\right)^{\frac{2}{3}}$$

8.7.3.3.3 Réseau hydraulique de refroidissement (id_{type}=1, $id_{fonction}$ =2)

8.7.3.3.3.1 Températures de dimensionnement

Les températures de dimensionnement sont saisies par l'utilisateur, ainsi que les écarts nominaux de températures entre branche départ et retour.

8.7.3.3.3.2 Indicateur de fonctionnement

Le fonctionnement des réseaux est asservi à la demande de refroidissement issue des émetteurs :

Si $Q_{sys\_fr}(h) < 0$ (Wh), alors, *(réseau en fonctionnement)*

$$\delta_{fonct}(h) = 1$$

Sinon,

$$\delta_{fonct}(h) = 0 \quad (917)$$

8.7.3.3.3.3 Débits requis et diminution de température de fluide suite au passage dans les émetteurs

Le calcul diffère selon les modes de gestion. On utilise toujours un bilan énergétique au niveau de l'émetteur, et on calcule les grandeurs inconnues à partir des grandeurs fixées par le mode de gestion.

Si $\delta_{fonct}(h) = 1$, alors, *(réseau en demande)*

Si $id_{debit\_fr}(h) = 3$, *alors, (réseau à débit variable)*

$$\begin{cases} q_{req}(h) = \dfrac{Q_{sys\_fr}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}.\Delta\theta_{em\_dim\_fr}} \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{req}(h); q_{resid}) \\ \Delta\theta_{em}(h) = \dfrac{Q_{sys\_fr}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}.q_{eff}(h)} \\ Mod_{pertes}(h) = 1 \end{cases} \quad (918)$$

Sinon, si $id_{debit\_fr}(h) = 2$, *alors, (réseau à débit constant et fonctionnement intermittent)*

$$\begin{cases} \Delta\theta_{em}(h) = \Delta\theta_{em\_dim\_fr} \\ q_{req}(h) = q_{nom\_fr} \\ q_{eff}(h) = q_{nom\_fr} \\ Mod_{pertes}(h) = MIN(1; \dfrac{Q_{sys\_fr}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}q_{nom\_fr}.\Delta\theta_{em}(h)}) \end{cases} \quad (919)$$

Sinon, *(réseau à débit constant et fonctionnement continu)*

$$\begin{cases} \Delta\theta_{em}(h) = \dfrac{Q_{sys\_fr}(h)}{\rho_{eau}.C_{p\_eau}q_{nom\_fr}} \\ q_{req}(h) = q_{nom\_fr} \\ q_{eff}(h) = q_{nom\_fr} \\ Mod_{pertes}(h) = 1 \end{cases} \quad (920)$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} q_{req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ \Delta\theta_{em}(h) = 0(°C) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases} \quad (921)$$

8.7.3.3.3.4 Température de départ

La température du fluide en tout point de la branche de départ est considérée constante, égale à $\theta_{dep}(h)$.

Les modes de gestion suivants sont pris en compte :

8.7.3.3.3.5 Cas id_{gest_fr}=1 : température de départ constante

$$\theta_{dep}(h) = \delta_{fonct}(h).\theta_{dep\_dim\_fr} + (1-\delta_{fonct}(h)).\theta_i(h) \quad (922)$$

8.7.3.3.3.6 Cas id_{gest_fr}=2 : température de retour constante

$$\theta_{dep}(h) = \delta_{fonct}(h).(\theta_{ret\_dim\_fr} + \Delta\theta_{em}(h)) + (1-\delta_{fonct}(h)).\theta_i(h) \quad (923)$$

8.7.3.3.3.7 Gestion des circulateurs en refroidissement

On considère trois types de circulateurs possibles : à vitesse constante, à vitesse variable avec maintien de la pression différentielle constante, et à vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau.

Note : Les circulateurs à vitesse variable ne sont pris en compte que dans le cadre d'un réseau à débit variable.

Si id_{circ_fr}=0, alors,

$$Mod_{circ}(h) = 0$$

Si id_{circ_fr}=1, alors, (circulateurs à vitesse constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h)$$

Si id_{circ_fr}=2, alors, (circulateurs à vitesse variable et du réseau à une pression différentielle constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (924)$$

Si id_{circ_fr}=3, alors, (circulateurs à vitesse variable évoluant de manière à réduire la pression différentielle dans le réseau)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(0.5\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}} + 0.5\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}}\right)^2\right)^{\frac{2}{3}}$$

8.7.3.3.4 Température de retour dans le réseau du groupe

Pour le calcul de la température sur la branche de retour du réseau du groupe, on considère conventionnellement que les émetteurs ne sont pas munis de by-pass.

De ce fait, la température de retour moyenne sur le pas de temps est égale à la température de départ moyenne ($\theta_{dep}(h)$) diminuée de la chute de température liée au transfert d'énergie à l'ambiance ($\Delta\theta_{em}(h)$).

Si $\delta_{fonct}(h) = 0$, alors,

$\theta_{ret}(h) = \theta_{dep}(h)$ *(réseau sans débit :* $\theta_{ret}(h) = \theta_{dep}(h) = \theta^{gr}_{i,moy}(h)$*)* (925)

Sinon,

$\theta_{ret}(h) = \theta_{dep}(h) - \Delta\theta_{em}(h)$

8.8 C-Dist-Distribution de chauffage et de refroidissement du groupe

8.8.1 INTRODUCTION

La présente fiche décrit le calcul des pertes et des consommations de circulateurs pour un composant distribution du groupe de chaud ou de froid, sur la base des sorties de la gestion/régulation établie.

Un réseau de distribution du groupe correspond au deuxième niveau d'arborescence d'un réseau de distribution. Plusieurs réseaux de distribution du groupe peuvent être connectés à un même réseau de distributions intergroupes.

8.8.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 98 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}\ (h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
E.tamp.	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon (non-solarisé).	Réel
Systèmes d'émission	$\theta_{i,moy}^{gr}(h)$	Température de l'air intérieur moyenne dans le groupe au pas de temps h (après croisement).	°C
	$Q_{sys\_ch}^{em}(h)$	Energie requise de chauffage, transmise par l'émetteur *em* au réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
	$Q_{sys\_fr}^{em}(h)$	Energie requise de refroidissement, transmise par l'émetteur *em* au réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
Gestion/régulation du réseau de distribution du groupe	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes de réseaux en fonction de leur gestion.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation de la puissance des circulateurs en fonction de leur mode de gestion.	Réel
	$\theta_{dep}(h)$	Température du départ du réseau du groupe au pas de temps *h*.	°C
	$\theta_{ret}(h)$	Température du retour du réseau du groupe au pas de temps *h*.	°C

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution du groupe : *1 : réseau pour le chauffage,* *2 : réseau pour le refroidissement.*	Entier	1	2	-
L_{vc}	Longueur de réseau de distribution situé en volume chauffé.	m	0	+∞	-
L_{hvc}	Longueur de réseau de distribution situé hors volume chauffé.	m	0	+∞	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Paramètres intrinsèques du réseau de distribution	id_{type}	Type de réseau de distribution du groupe : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique.*	Entier	0	1	-
	P_{aux_ch} *ou* P_{aux_fr}	Puissance du circulateur du réseau du groupe.	W	0	+∞	-
	$U_{moyen\_vc\_ch}$ *ou* $U_{moyen\_vc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau, sur sa fraction en volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moyen\_hvc\_ch}$ *ou* $U_{moyen\_hvc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau, sur sa fraction hors volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	P_{circ_vc}	Part de la consommation électrique des circulateurs transmise à l'ambiance sous forme de chaleur.	W	0	+∞	0.5

Sorties

	Nom	Description	Unité
Distrib intergr.	$Q_{sys\_ch}(h)$ *ou* $Q_{sys\_fr}(h)$	Besoin en énergie augmenté des pertes thermiques du réseau du groupe.	Wh
Cal. gr.	$W_{aux}\ (h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
P. et c. récupérables	$\Phi_{aux\_vc}\ (h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}\ (h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution du groupe en volume chauffé.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_hvc}(h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution du groupe hors volume chauffé.	Wh
$\theta_{moy}(h)$	Température moyenne dans le réseau de distribution du groupe.	°C
$\theta_{hvc}(h)$	Température de l'air autour de la conduite hors volume chauffé.	°C

Tableau 98 : Nomenclature du modèle

8.8.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Selon les valeurs de id_{type} et $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	$id_{fonction}$	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.8.3.1***
1	$id_{fonction}$ =1	Chauffage	***Voir 8.8.3.2***
	$id_{fonction}$ =2	Refroidissement	***Voir 8.8.3.3***

Tableau 99: Récapitulatif de l'appel des procédures

8.8.3.1 *Réseau fictif (id_{type} =0)*

L'absence de réseau du groupe physique correspond à l'introduction des systèmes sans circulation de fluide caloporteur, c'est-à-dire :

- L'ensemble des dispositifs de chauffage à effet joule : convecteur, radiateur…
- Les poêles et inserts,
- Les petits climatiseurs.

Dans ces configurations de systèmes, il n'y a pas physiquement de réseau de distribution. Le réseau est donc sans pertes et la demande d'énergie est transmise directement au réseau intergroupes.

Si $id_{fonction}$= 1, alors (fonction chauffage)

$$Q_{sys\_ch}(h) = Q_{sys\_ch}^{em}(h)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = 0\ (Wh)$$

Sinon, *(fonction refroidissement)* (926)

$$Q_{sys\_ch}(h) = 0\ (Wh)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = Q_{sys\_fr}^{em}(h)$$

Les consommations d'auxiliaires et pertes thermiques de distribution sont nulles.

$$\begin{cases} W_{aux}\ (h) = 0\ (Wh) \\ \Phi_{pertes\_vc}\ (h) = 0\ (Wh) \\ \Phi_{pertes\_hvc}\ (h) = 0\ (Wh) \end{cases} \quad (927)$$

8.8.3.2 *Réseau hydraulique de chauffage (id_{type}=0, $id_{fonction}$=1)*

8.8.3.2.1 Calcul des pertes du réseau de distribution du groupe

On exprime tout d'abord la température moyenne dans le réseau, en considérant que les longueurs des portions de départ et de retour sont identiques :

$$\theta_{moy}(h) = \frac{\theta_{ret}(h) + \theta_{dep}(h)}{2} \quad (928)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces chauffés sont les suivantes :

$$\phi_{pertes\_vc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_vc\_ch} \times L_{vc} \times MAX(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{i,moy}^{gr}(h)) \quad (929)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces non-chauffés ou l'extérieur sont les suivantes :

$$\theta_{hvc}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_i(h) \quad (930)$$

$$\phi_{pertes\_hvc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_hvc\_ch} \times L_{hvc} \times MAX\left(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{hvc}(h)\right) \quad (931)$$

8.8.3.2.2 Calcul de la consommation des auxiliaires de distribution

La consommation d'énergie des circulateurs du réseau du groupe dépend de leur mode de gestion, qui se traduit par un coefficient de modulation $Mod_{circ}(h)$ issu de la fiche gestion/régulation du réseau du groupe.

$$W_{aux}(h) = Mod_{circ}(h) \cdot P_{aux\_ch} (.1h) \quad (932)$$

Conventionnellement, une part $P_{circ\_amb} = 50\%$ de l'énergie consommée par les circulateurs du réseau du groupe est transmise à l'ambiance des locaux chauffés :

$$\Phi_{aux\_vc}(h) = P_{circ\_vc} \cdot W_{aux}(h) (Wh) \quad (933)$$

8.8.3.2.3 Calcul des besoins en énergie augmentés des pertes du réseau du groupe

La demande en énergie du couple émetteur/réseau du groupe est finalement la suivante :

$$Q_{sys\_ch}(h) = Q_{sys\_ch}^{em}(h) + \Phi_{pertes\_vc}(h) + \Phi_{pertes\_hvc}(h)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = 0 (Wh) \quad (934)$$

8.8.3.3 *Réseau hydraulique de refroidissement (id_{type} =0, $id_{fonction}$ =2)*

8.8.3.3.1 Calcul des pertes du réseau de distribution du groupe

On exprime tout d'abord la température moyenne dans le réseau, en considérant que les longueurs des portions de départ et de retour sont identiques :

$$\theta_{moy}(h) = \frac{\theta_{ret}(h) + \theta_{dep}(h)}{2} \quad (935)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces chauffés sont les suivantes :

$$\phi_{pertes\_vc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_vc\_fr} \times L_{vc} \times MIN(0; \theta_{moy}(h) - \theta^{gr}_{i,moy}(h)) \quad (936)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces non-chauffés ou l'extérieur sont les suivantes :

$$\theta_{hvc}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_i(h) \quad (937)$$

$$\phi_{pertes\_hvc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_hvc\_fr} \times L_{hvc} \times MIN\left(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{hvc}(h)\right) \quad (938)$$

8.8.3.3.2 Calcul de la consommation des auxiliaires de distribution

La consommation d'énergie des circulateurs du réseau du groupe dépend de leur mode de gestion, qui se traduit par un coefficient de modulation $Mod_{circ}(h)$ issu de la fiche gestion/régulation du réseau du groupe.

$$W_{aux}(h) = Mod_{circ}(h) \,.\, P_{aux\_fr}\ (.1h) \quad (939)$$

Conventionnellement, une part P_{circ_amb} = 50% de l'énergie consommée par les circulateurs du réseau du groupe est transmise à l'ambiance des locaux chauffés :

$$\Phi_{aux\_vc}(h) = P_{circ\_vc} \,.\, W_{aux}(h)\ (Wh) \quad (940)$$

8.8.3.3.3 Calcul des besoins en énergie augmentés des pertes du réseau du groupe

La demande en énergie du couple émetteur/réseau du groupe est finalement la suivante :

$$Q_{sys\_ch}(h) = 0\ (Wh)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = Q_{sys\_fr}^{em}(h) + \Phi_{pertes\_vc}(h) + \Phi_{pertes\_hvc}(h) \quad (941)$$

8.9 C-DIST-Gestion/régulation des distributions intergroupes de chaud et de froid

8.9.1 INTRODUCTION

Les réseaux intergroupes constituent un deuxième niveau dans l'arborescence de la distribution, connectant un ensemble de distributions du groupe (locales) à un système de génération.

Les règles de modélisation sont identiques, à savoir :

- En l'absence de conduite de distribution hydraulique, c'est-à-dire pour l'ensemble des systèmes sur air tels que les pompes à chaleur à détente directe, les convecteurs et radiateurs électriques et les poêles à bois, un composant distribution du groupe de type fictif est introduit, afin de lier la description des systèmes d'émissions et de génération.

- Un composant distribution du groupe (chauffage seul ou refroidissement seul) est associé à un et un seul composant distribution intergroupes partageant sa fonction. Il en résulte que, de la même façon que les réseaux de distribution du groupe les réseaux intergroupes 2 tubes « réversible » (une seule conduite assurant chauffage et refroidissement en alternance selon les périodes) sont modélisés au travers d'une séparation virtuelle en un composant distribution de chauffage et un composant distribution de refroidissement.

A chaque pas de temps, l'état du réseau intergroupe hérite des profils de gestion/régulation des différents réseaux de distribution du groupe desservis :

- La température de départ est prise égale au maximum des températures requises au niveau des groupes desservis,

- Le débit total est égal à la somme de l'ensemble des débits effectifs circulant dans les réseaux du groupe desservis,

- La température de retour est la moyenne pondérée par les débits effectifs des différentes températures de retour des réseaux du groupe desservis,

- Le coefficient d'intermittence est pris égal au maximum des coefficients d'intermittence des réseaux du groupe desservis.

8.9.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 100 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation. Les distributions des groupes seront désignées par l'exposant *ds*.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Emission	$Rat_{eff\_ch}^{gr,em}$	Part de l'énergie effective assurée par l'émetteur *em* en chauffage, pour le groupe *gr* desservi par la distribution intergroupes.	Ent
	$Rat_{eff\_fr}^{gr,em}$	Part de l'énergie effective assurée par l'émetteur *em* en refroidissement, pour le groupe *gr* desservi par la distribution intergroupes.	Ent
	$\theta_{i,moy}^{gr}(h)$	Température de l'air intérieur moyenne dans le groupe *gr* au pas de temps h (après croisement).	°C
	$\theta_{air\_souffle}^{gr,s}(h)$	Température d'air soufflé en amont de l'ensemble bouche/conduit de soufflage *s* du groupe *gr*.	°C
	$q_{m,spec\_souffle}^{gr,s}(h)$	Débit massique d'air soufflé de l'ensemble bouche/conduit de soufflage s du groupe gr.	kg/s
Gestion/régulation distribution du groupe	$i_{relance}^{ds}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre au réseau de distribution intergroupes.	Ent.
	$\delta_{fonct}^{ds}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau du groupe : *0 : Le réseau du groupe ne débite pas,* *1 : Le réseau du groupe débite.*	Entier
	$q_{eff}^{ds}(h)$	Débit volumique dans le réseau du groupe en chauffage ou refroidissement.	m³/h
	$\theta_{dep}^{ds}(h)$	Température du départ du réseau du groupe *ds*, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$\theta_{ret}^{ds}(h)$	Température du retour du réseau du groupe *ds*, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
Distr. second.	$Q_{sys\_ch}^{ds}(h)$	Energie requise par le réseau du groupe *ds* en chauffage.	Wh
	$Q_{sys\_fr}^{ds}(h)$	Energie requise par le réseau du groupe *ds* en refroidissement.	Wh

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution intergroupes : *1 : chauffage,* *2 : refroidissement*	Entier	0	1	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	id_{type}	Type de réseau de distribution intergroupes : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique collectif,* *2 : réseaux hydrauliques individuels uniquement.*	Entier	0	2	-
	$id_{v\_air}^{ds}$	Type de batterie associée à la distribution du groupe ds: *0 : Batterie sur air du local,* *1 : Batterie sur air soufflé (en amont de la bouche de soufflage).*	Entier	0	1	-
Gestion des circulateurs	id_{circ_ch} ou id_{circ_fr}	Mode de régulation du circulateur : *0 : Pas de circulateurs,* *1 : Vitesse constante,* *2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle constante,* *3 : Vitesse variable et variations de la pression différentielle du réseau.*	Ent.	0	3	-
Températures de dimensionnement	$\theta_{dep\_dim\_ch}^{ds}$ ou $\theta_{dep\_dim\_fr}^{ds}$	Température de départ de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
	$\theta_{ret\_dim\_ch}^{ds}$ ou $\theta_{ret\_dim\_fr}^{ds}$	Température de retour de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
	$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}^{ds}$ ou $\Delta\theta_{em\_dim\_fr}^{ds}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
Gestion/reg. du groupe	q_{resid}^{ds}	Débit résiduel minimal dû à des circulateurs en régime de fonctionnement permanent.	m³/h	-∞	+∞	-
	$q_{nom\_ch}^{ds}$ ou $q_{nom\_fr}^{ds}$	Débit volumique nominal dans le réseau du groupe.	m³/h	-∞	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
blage généra	θ_{max_ch} ou θ_{min_fr}	Température maximale de la distribution intergroupes	°C

	$A_{dess\_ch}^{dp}$	Surface totale desservie en chaud par la distribution intergroupes.	m²
	$A_{dess\_fr}^{dp}$	Surface totale desservie en froid par la distribution intergroupes.	m²
	$Rat_{surf\_dess\_ch}^{dp,gr}$	Ratio de la surface desservie dans le groupe gr sur la surface totale desservie par la distribution intergroupes, en chauffage.	Réel
	$Rat_{surf\_dess\_fr}^{dp,gr}$	Ratio de la surface desservie dans le groupe gr sur la surface totale desservie par la distribution intergroupes, en refroidissement.	Réel
	$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre au générateur.	Ent.
	$\theta_{i,aval,eq}(h)$	Température d'air équivalente vu par la distribution intergroupes.	°C
	$Rat_{bes\_prim\_ch}^{dp,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe relié à un réseau intergroupes sur la somme de tous les besoins de chauffage du réseau intergroupes	Réel
	$Rat_{bes\_prim\_fr}^{dp,gr}(h)$	Ratio des besoins de refroidissement d'un groupe relié à un réseau intergroupes sur la somme de tous les besoins de refroidissement du réseau intergroupes	Réel
	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes thermiques du réseau.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation des puissances de circulateur issu de la fiche gestion et régulation, pour le réseau intergroupes.	Réel
Réseau de distribution intergroupes	$\delta_{fonct}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau intergroupes : *0 : Le réseau intergroupes ne débite pas,* *1 : Le réseau intergroupes débite.*	Entier
	$\theta_{dep}(h)$	Température de départ du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$\theta_{ret}(h)$	Température de retour du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)$	Energie de chauffage totale requise en entrée du réseau intergroupes.	Wh
	$Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)$	Energie de refroidissement totale requise en entrée du réseau intergroupes.	Wh

P. et c. récup.	$Rat_{surf}^{dp,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par le réseau de distribution intergroupes	Réel

Variables internes

Nom	Description	Unité
$q_{tot\_req}(h)$	Débit total requis par les réseaux de distributions du groupe.	m³/h
$q_{eff}(h)$	Débit volumique dans le réseau de distribution intergroupes au pas de temps h.	m³/h
q_{nom_ch} OU q_{nom_fr}	Débit nominal du réseau intergroupes.	m³/h
q_{resid}	Débit résiduel du réseau intergroupes.	m³/h

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
θ_{amb_ch}	Température d'ambiance intérieure conventionnelle pour le calcul des déperditions du réseau intergroupes lorsqu'il fonctionne en chauffage.	°C	20
θ_{amb_fr}	Température d'ambiance intérieure conventionnelle pour le calcul des déperditions du réseau intergroupes lorsqu'il fonctionne en refroidissement.	°C	26

Tableau 100 : Nomenclature du modèle

8.9.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.9.3.1 *Lien avec la programmation*

Le réseau est considéré en relance lorsqu'au moins l'un des groupes connectés est en période de relance.

$$i_{relance}(h) = MAX(i^{ds}_{relance}(h))_{ds \to dp} \quad (942)$$

8.9.3.2 *Total d'énergie requise dans la distribution intergroupes*

L'énergie totale en entrée du réseau de distribution intergroupes est la somme des besoins augmentés des pertes pour chaque réseau de distribution du groupe :

$$\begin{aligned} Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h) &= \sum_{ds \to dp} Q^{ds}_{sys\_ch}(h) \\ Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h) &= \sum_{ds \to dp} Q^{ds}_{sys\_fr}(h) \end{aligned} \quad (943)$$

8.9.3.3 *Calcul des ratios et surfaces desservies*

La surface desservie par le réseau de distribution intergroupes est la somme des surfaces desservies par chacun des émetteurs en chauffage et en refroidissement :

$$\begin{cases} Si\ id_{fonction} = 1, & \begin{cases} A^{dp}_{dess\_ch} = \sum\limits_{gr \leftarrow dp} [(\sum\limits_{\substack{em \in gr \\ em \to dp}} Rat^{gr,em}_{eff\_ch}) \times A^{gr}] \\ A^{dp}_{dess\_fr} = 0 \end{cases} \\ Si\ id_{fonction} = 2, & \begin{cases} A^{dp}_{dess\_ch} = 0 \\ A^{dp}_{dess\_fr} = \sum\limits_{gr \leftarrow dp} [(\sum\limits_{\substack{em \in gr \\ em \to dp}} Rat^{gr,em}_{eff\_fr}) \times A^{gr}] \end{cases} \end{cases} \quad (944)$$

Pour un réseau intergroupes de chauffage ($id_{fonction} = 1$) :

$$\begin{cases} Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_ch} = \dfrac{(\sum\limits_{\substack{em \in gr \\ em \to dp}} Rat^{gr,em}_{eff\_ch}) \times A^{gr}}{A^{dp}_{dess\_ch}} \\ Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_fr} = 0 \end{cases} \quad (945)$$

$$Rat^{dp,gr}_{surf} = Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_ch}$$

Pour un réseau intergroupes de refroidissement ($id_{fonction} = 2$) :

$$\begin{cases} Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_ch} = 0 \\ Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_fr} = \dfrac{(\sum\limits_{\substack{em \in gr \\ em \to dp}} Rat^{gr,em}_{eff\_fr}) \times A^{gr}}{A^{dp}_{dess\_fr}} \end{cases} \quad (946)$$

$$Rat^{dp,gr}_{surf} = Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_fr}$$

8.9.3.4 *Calcul horaires des ratios de demande en chauffage et refroidissement*

Les ratios de consommations expriment la part de chacun des groupes dans le total d'énergie requis dans le réseau de distribution intergroupes.

En l'absence de besoins de chaud ($Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)=0$) ou de froid ($Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)=0$), on répartit les consommations résiduelles au prorata des surfaces desservie dans chaque groupe.

Pour un réseau intergroupes de chauffage ($id_{fonction}=1$) :

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_fr}(h)=0$$

Si $Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)>0$, alors,

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_ch}(h)=\frac{\sum_{\substack{ds\in gr\\ ds\to dp}} Q^{ds}_{sys\_ch}(h)}{Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)} \quad (947)$$

Sinon,

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_ch}(h)=Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_ch}$$

Pour un réseau intergroupes de refroidissement ($id_{fonction}=2$) :

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_ch}(h)=0$$

Si $Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)<0$, alors,

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_fr}(h)=\frac{\sum_{\substack{ds\in gr\\ ds\to dp}} Q^{ds}_{sys\_fr}(h)}{Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)} \quad (948)$$

Sinon,

$$Rat^{dp,gr}_{bes\_prim\_fr}(h)=Rat^{dp,gr}_{surf\_dess\_fr}$$

8.9.3.5 *Description des processus de calculs*

Selon les valeurs de id_{type} et $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	id_{fonct_ch}	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.9.3.5.1***
1 ou 2	$id_{fonction}$ =1	Hydraulique chauffage	***Voir 8.9.3.5.2***
	$id_{fonction}$ =2	Hydraulique refroidissement	***Voir 8.9.3.5.3***

Tableau 101: Récapitulatif de l'appel des procédures

Note : pour une installation avec réseau hydraulique, mais ne comprenant pas de branche intergroupes (chauffage individuel, par exemple), le composant distribution intergroupes est défini comme hydraulique avec une longueur nulle et sans circulateurs.

8.9.3.5.1 Distribution fictive (id_{type} =0)

L'absence de réseau du groupe physique correspond à l'introduction des systèmes sans circulation de fluide caloporteur, c'est-à-dire entre autres :

- L'ensemble des dispositifs de chauffage à effet joule : convecteur, radiateur…
- Les poêles et inserts,
- Les petits climatiseurs,
- Les batteries terminales des centrales de traitement d'air.

Les données de sortie pour la cohérence de montage sont les suivantes :

$$\theta_{\max\_ch} = 0\,(°C) \quad (949)$$

$$\theta_{\min\_fr} = 100\,(°C) \quad (950)$$

Les données de sorties horaires sont les suivantes :

$$\begin{aligned} &\theta_{dep}(h) = 0\ (°C)\\ &\theta_{ret}(h) = 0\ (°C)\\ &Mod_{pertes}(h) = 0\\ &Mod_{circ}(h) = 0\\ &q_{eff}(h) = 0\ (m^3/h)\\ &\delta_{fonct}(h) = 0 \end{aligned} \quad (951)$$

On admettra que l'ensemble des batteries et émetteurs connectées à un réseau de distribution intergroupes fictif sont soit toutes des batteries sur l'air ambiant du local ($id_{v\_air}^{ds}$ =0), soit toutes des batteries sur air soufflé ($id_{v\_air}^{ds}$ =1, en amont des bouches de soufflage). On calcule une température d'air équivalente vue par la ou les batteries permettant d'alimenter la modélisation des générateurs sur air dans la génération.

Quelque soit la distribution du groupe ds, $id_{v\_air}^{ds}$ =0 : cas d'une ou plusieurs batteries sur l'air ambiant du local :

La température vue par la batterie équivalente est la moyenne des températures d'air des groupes pondérée par leurs surfaces utiles respectives.

$$\theta_{i,aval,eq}^{dp}(h) = \sum_{gr \leftarrow dp} Rat_{surf}^{dp,gr}\,\theta_{i,moy}^{gr}(h) \quad (°C) \quad (952)$$

Quelque soit la distribution du groupe ds, $id_{v\_air}^{ds}$ =1 : cas d'une ou plusieurs batteries sur air soufflé (en amont des bouches de soufflage) :
La température vue par la batterie équivalente est la moyenne des températures d'air soufflées par les débits de soufflage respectifs.

$$\theta_{i,aval,eq}^{dp}(h) = \frac{\sum_{\{gr,s \to dp} q_{m,spec\_souffle}^{gr,s}(h).\theta_{air\_souffle}^{gr,s}(h)}{\sum_{\{gr,s \to dp} q_{m,spec\_souffle}^{gr,s}(h)} \quad (°C) \qquad (953)$$

Note : si la somme des débits de soufflage $\sum_{\{gr,s \to dp} q_{m,spec\_souffle}^{gr,s}(h)$ est nulle, $\theta_{i,aval,eq}^{dp}(h)$ prendra la valeur moyenne d'air ambiant des groupes connectés :

$$\theta_{i,aval,eq}^{dp}(h) = \sum_{gr \leftarrow dp} Rat_{surf}^{dp,gr}\, \theta_{i,moy}^{gr}(h).$$

8.9.3.5.2 Réseau hydraulique de chauffage (id_{type} =1, $id_{fonction}$ =1)

8.9.3.5.2.1 Caractéristiques de dimensionnement

La vérification de la compatibilité de la génération en termes de températures de dimensionnement impose de connaitre les températures extrêmes sollicitées par les réseaux du groupe. Si la génération ne peut pas les atteindre, le montage est jugé incorrect.

Dans le cas où le réseau est à température de départ constante ou à régulation sur la température de départ, la référence est la température de départ. Dans le cas d'une température de retour constante, on calcule l'extrême de la température de départ dans les conditions nominales.

$$\theta_{\max\_ch} = \underset{ds \in dp}{MAX}\left(\theta^{ds}_{dep\_\dim\_ch} - \frac{\Delta\theta^{ds}_{em\_\dim\_ch}}{2}; \theta^{ds}_{ret\_\dim\_ch} + \frac{\Delta\theta^{ds}_{em\_\dim\_ch}}{2} \right) \quad (954)$$

$$\theta_{\min\_fr} = 100(°C) \quad (955)$$

Le débit résiduel correspond au débit minimum en fonctionnement :

$$q_{nom\_ch} = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{nom\_ch} \quad (956)$$

$$q_{resid} = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{resid} \quad (957)$$

8.9.3.5.2.2 Caractérisation horaire du réseau de distribution en fonction du mode de gestion

L'algorithme correspondant est le suivant :

$$\delta_{fonct}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(\delta^{ds}_{fonct}(h)) \quad (958)$$

Si $\delta_{fonct}(h)$ >0, alors,

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \underset{ds,\in dp}{MIN}(\theta^{ds}_{dep}(h)) \\ q_{tot\_req}(h) = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{eff}(h) \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{tot\_req}(h); q_{resid}) \end{cases}$$

Cas id_type =1 (réseau de distribution hydraulique collectif)

$$Mod_{pertes}(h) = 1$$

Cas id_type =2 (réseaux hydrauliques individuels uniquement) (959)

$$Mod_{pertes}(h) = 0$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \theta_{amb\_ch} \\ \delta_{fonct}(h) = 0 \\ q_{tot\_req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases}$$

$$\delta_{fonct}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(\delta^{ds}_{fonct}(h)) \quad (960)$$

Si $\delta_{fonct}(h)$ >0, alors,

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(\theta^{ds}_{dep}(h)) \\ Mod_{pertes}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(Mod^{ds}_{pertes}(h)) \\ q_{tot\_req}(h) = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{eff}(h) \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{tot\_req}(h); q_{resid}) \end{cases} \quad (961)$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \theta_{amb\_ch} \\ \delta_{fonct}(h) = 0 \\ q_{tot\_req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases}$$

8.9.3.5.2.3 Gestion des circulateurs en chauffage

On considère trois types de circulateurs possibles : à vitesse constante, à vitesse variable avec différentielle de pression constante, et à vitesse variable avec différentielle de pression variable.

Si id_{circ_ch} =0, alors,

$$Mod_{circ}(h) = 0$$

Si id_{circ_ch} =1, alors, (circulateurs à vitesse constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h)$$

Si id_{circ_ch} =2, alors, (circulateurs à vitesse variable et du réseau à une pression différentielle constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (962)$$

Si id_{circ_ch} =3, alors, (circulateurs à vitesse variable et variation de la pression différentielle du réseau)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(0.5\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}} + 0.5\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_ch}}\right)^{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

8.9.3.5.3 Réseau hydraulique de refroidissement (id_{type} =1, $id_{fonction}$ =2)

8.9.3.5.3.1 Caractéristiques de dimensionnement

La vérification de la compatibilité de la génération en termes de températures de dimensionnement impose de connaitre les températures extrêmes sollicitées par les réseaux du groupe. Si la génération ne peut pas les atteindre, le montage est jugé incorrect.

Dans le cas où le réseau est à température de départ constante, la référence est la température de départ. Dans le cas d'une température de retour constante, on calcule l'extrême de la température de départ dans les conditions nominales.

$$\theta_{\max\_ch} = 0\,(°C) \quad (963)$$

$$\theta_{min,fr} = MIN_{ds\in dp}\left(\theta^{ds}_{dep,\dim,fr} + \frac{\Delta\theta^{ds}_{em,\dim,fr}}{2};\ \theta^{ds}_{ret,\dim,fr} - \frac{\Delta\theta^{ds}_{em,\dim,fr}}{2}\right) \quad (964)$$

Note : $\Delta\theta^{ds}_{em\_\dim\_fr}$ a une valeur négative.

Les débits résiduels et nominaux sont conventionnellement pris égaux à la somme des débits résiduels et nominaux des réseaux du groupe :

$$q_{nom\_fr} = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{nom\_fr} \quad (965)$$

$$q_{resid} = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{resid} \quad (966)$$

8.9.3.5.3.2 Caractérisation horaire du réseau de distribution en fonction du mode de gestion

L'algorithme correspondant est le suivant :

$$\delta_{fonct}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(\delta^{ds}_{fonct}(h)) \quad (967)$$

Si $\delta_{fonct}(h)$ >0, alors,

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \underset{ds,\in dp}{MIN}(\theta^{ds}_{dep}(h)) \\ q_{tot\_req}(h) = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{eff}(h) \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{tot\_req}(h); q_{resid}) \end{cases} \quad (968)$$

Cas id_type =1 (réseau de distribution hydraulique collectif)

$$Mod_{pertes}(h) = 1$$

Cas id_type =2 (réseau hydraulique individuels uniquement)

$$Mod_{pertes}(h) = 0$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \theta_{amb\_fr}(h) \\ \delta_{fonct}(h) = 0 \\ q_{tot\_req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases}$$

$$\delta_{fonct}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(\delta^{ds}_{fonct}(h)) \quad (969)$$

Si $\delta_{fonct}(h)$ >0, alors,

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \underset{ds,\in dp}{MIN}(\theta^{ds}_{dep}(h)) \\ Mod_{pertes}(h) = \underset{ds,\in dp}{MAX}(Mod^{ds}_{pertes}(h)) \\ q_{tot\_req}(h) = \sum_{ds,\in dp} q^{ds}_{eff}(h) \\ q_{eff}(h) = MAX(q_{tot\_req}(h); q_{resid}) \end{cases} \quad (970)$$

Sinon, *(réseau à l'arrêt)*

$$\begin{cases} \theta_{dep}(h) = \theta_{amb\_fr}(h) \\ \delta_{fonct}(h) = 0 \\ q_{tot\_req}(h) = 0(m^3/h) \\ q_{eff}(h) = 0(m^3/h) \\ Mod_{pertes}(h) = 0 \end{cases}$$

8.9.3.5.3.3 Gestion des circulateurs en refroidissement

On considère trois types de circulateurs possibles : à vitesse constante, à vitesse variable avec différentielle de pression constante, et à vitesse variable avec différentielle de pression variable.

Cas id_type =2 (réseau hydraulique individuels uniquement)

$$Mod_{circ}(h) = 0$$

Cas id_type =1 (réseau de distribution hydraulique collectif)

Si id_{circ_fr} =0, alors,

$$Mod_{circ}(h) = 0$$

Si id_{circ_fr} =1, alors, (circulateurs à vitesse constante)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h)$$

Si id_{circ_fr} =2, alors, (circulateurs à vitesse variable et du réseau à une pression différentielle constante) (971)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Si id_{circ_fr} =3, alors, (circulateurs à vitesse variable et variation de la pression différentielle du réseau)

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h).\left(0.5\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}} + 0.5\left(\frac{q_{eff}(h)}{q_{nom\_fr}}\right)^{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

8.9.3.5.4 Calcul des températures retour et moyenne du réseau intergroupes

La température de retour du réseau intergroupes est conventionnellement prise égale à la moyenne pondérée par les débits massiques des températures de retour des différents réseaux du groupe desservis par le réseau intergroupes. Dans le cas où le débit devient inférieur au débit résiduel, on considère qu'une partie de l'eau est transmise directement au travers d'un circuit de décharge à la branche retour.

Si $\delta_{fonct}(h)=0$, alors,

$$\theta_{ret}(h) = \theta_{dep}(h)$$

Sinon,

(972)

$$\theta_{ret}(h) = \frac{\sum_{ds,\in dp}(q_{eff}^{ds}(h)\theta_{ret}^{ds}(h)) + MAX(0; q_{resid} - q_{tot\_req}(h)) \times \theta_{dep}(h)}{q_{eff}(h)}$$

8.10 C-Dist-Distribution intergroupes de chaud et de froid

8.10.1 INTRODUCTION

La présente fiche décrit les processus ayant lieu au niveau d'un composant distribution intergroupes de chaud et de froid, défini au niveau d'une génération.

Un réseau de distribution intergroupes correspond au premier niveau d'arborescence d'un réseau de distribution, en partant du générateur. Un composant distribution intergroupes doit obligatoirement être relié à une et une seule génération, et à au moins un réseau de distribution secondaire.

Plusieurs réseaux de distribution secondaires peuvent être connectés à un même réseau de distribution intergroupes.

8.10.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 102 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
E.tamp.	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon.	Réel
Gestion/régulation du réseau intergroupes	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes de réseaux en fonction de leur gestion.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation des consommations de circulateur issu de la fiche gestion/régulation.	Réel
	$\theta_{dep}(h)$	Température de départ du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$\theta_{ret}(h)$	Température de retour du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)$	Energie de chauffage totale requise en entrée du réseau intergroupes.	Wh
	$Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)$	Energie de refroidissement totale requise en entrée du réseau intergroupes.	Wh

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
L_{vc}	Longueur de réseau de distribution intergroupes situé en volume chauffé.	m	0	+∞	-
L_{hvc}	Longueur de réseau de distribution intergroupes situé hors volume chauffé.	m	0	+∞	-
$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution intergroupes : *1 : chauffage,* *2 : refroidissement*	Entier	0	1	-

	θ_{vc_ch}	Température ambiante équivalente en volume chauffée lorsque le réseau intergroupes est sollicité en chauffage.	°C	-	-	20
	θ_{vc_fr}	Température ambiante équivalente en volume chauffée lorsque le réseau intergroupes est sollicité en refroidissement.	°C	-	-	26

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	id_{type}	Type de réseau de distribution secondaire : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique.*	Entier	0	1	-
Puissances de circulateurs	P_{aux_ch}	Puissance du circulateur du réseau intergroupes en chauffage.	W	0	+∞	-
	P_{aux_fr}	Puissance du circulateur du réseau intergroupes en refroidissement.	W	0	+∞	-
	P_{circ_vc}	Part des consommations d'auxiliaires transmise au volume chauffé sous forme de chaleur.	Réel	0	1	0
Coefficients d'échanges du réseau intergroupes	$U_{moy\_vc\_ch}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le chauffage, sur sa fraction en volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moy\_hvc\_ch}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le chauffage, sur sa fraction hors volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moy\_vc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le refroidissement, sur sa fraction en volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moy\_hvc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le refroidissement, sur sa fraction hors volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Génération	$\theta_{moy}(h)$	Température moyenne dans le réseau intergroupes, qui va permettre de déterminer le comportement du générateur.	°C
	Q_{sys_ch} (h)	Besoin en énergie de chauffage augmenté des pertes thermiques du réseau intergroupes.	Wh

Cal. gr.	$Q_{sys\_fr}\ (h)$	Besoin en énergie de refroidissement augmenté des pertes thermiques du réseau intergroupes.	Wh
	$W_{aux}\ (h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau de distribution intergroupe au pas de temps h.	Wh
P. et c. récupérables	$\Phi_{aux\_vc}\ (h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}\ (h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution intergroupes en volume chauffé.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{vc}(h)$	Température ambiante équivalente autour de la conduite en volume chauffé.	°C
$\theta_{hvc}(h)$	Température ambiante équivalente autour de la conduite hors volume chauffé.	°C
$\Phi_{pertes\_hvc}\ (h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution intergroupes hors volume chauffé.	Wh

Tableau 102 : Nomenclature du modèle

8.10.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Selon les valeurs de id_{type} et $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	$id_{fonction}$	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.10.3.1***
1	$id_{fonction}$ =1	Chauffage uniquement	***Voir 8.10.3.2***
	$id_{fonction}$ =2	Refroidissement uniquement	***Voir 8.10.3.3***

Tableau 103: Récapitulatif de l'appel des procédures

Note : pour une installation avec réseau hydraulique, mais ne comprenant pas de branche intergroupe (chauffage individuel, par exemple), la distribution fictive n'est pas valable.

8.10.3.1 *Réseau de distribution intergroupes fictif (id_{type} =0)*

L'absence de réseau intergroupes hydraulique correspond à l'introduction de systèmes fonctionnant directement sur l'air ambiant. Le cas des réseaux associés à des générateurs de préchauffage ou prerefroidissement est traité dans les réseaux de CTA.

- L'ensemble des dispositifs de chauffage à effet joule : convecteur, radiateur…
- Les poêles et inserts,
- Les petits climatiseurs.

Dans ces configurations de systèmes, il n'y a pas physiquement de réseau de distribution. Le réseau est donc sans pertes et la demande d'énergie est transmise directement à la génération.

Si $id_{fonction}$ = 1, alors (fonction chauffage)

$$Q_{sys\_ch}(h) = Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = 0 \ (Wh) \qquad (973)$$

Sinon, *(fonction refroidissement)*

$$Q_{sys\_ch}(h) = 0 \ (Wh)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h)$$

Les consommations d'auxiliaires et pertes thermiques de distribution sont nulles.

$$W_{aux}(h) = 0 \ (Wh)$$
$$\Phi_{pertes\_vc}(h) = 0 \ (Wh)$$
$$\Phi_{pertes\_hvc}(h) = 0 \ (Wh) \qquad (974)$$
$$\theta_{moy}(h) = 0 \ (°C)$$
$$\Phi_{aux\_vc}(h) = 0 \ (Wh)$$

8.10.3.2 *Réseau hydraulique de chauffage (id_{type}=1, $id_{fonction}$=1)*

8.10.3.2.1 Calcul des pertes du réseau de distribution intergroupes

On exprime tout d'abord la température moyenne dans le réseau, en considérant que les longueurs des portions de départ et de retour sont identiques :

$$\theta_{moy}(h) = \frac{\theta_{ret}(h) + \theta_{dep}(h)}{2} \quad (975)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces chauffés sont les suivantes :

$$\theta_{vc}(h) = \theta_{vc\_ch} \quad (976)$$

$$\phi_{pertes\_vc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_vc\_ch} \times L_{vc} \times MAX(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{vc}(h)) \quad (977)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces non-chauffés ou l'extérieur sont les suivantes :

$$\theta_{hvc}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_{vc}(h) \quad (978)$$

$$\phi_{pertes\_hvc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_hvc\_ch} \times L_{hvc} \times MAX\left(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{hvc}(h)\right) \quad (979)$$

8.10.3.2.2 Calcul de la consommation des auxiliaires de distribution

La consommation d'énergie des circulateurs du réseau secondaire dépend de leur mode de gestion, qui se traduit par un coefficient de modulation $Mod_{circ}(h)$ issu de la fiche gestion/régulation du réseau secondaire.

$W_{aux\ (h)} = Mod_{circ}(h)\ .\ P_{aux\_ch}\ (.1h)$ (980)

Conventionnellement, on considère que $P_{circ\_vc} = 0\%$: l'énergie consommée par les circulateurs du réseau intergroupes n'est pas transmise à l'ambiance des locaux chauffés :

$\Phi_{aux\_vc\ (h)} = P_{circ\_vc}\ .\ W_{aux\ (h)}\ (Wh)$ (981)

8.10.3.2.3 Calcul des besoins en énergie augmentés des pertes du réseau intergroupes

La demande en énergie du couple émetteur/réseau secondaire est finalement la suivante :

$$Q_{sys\_ch}(h) = Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h) + \phi_{pertes\_vc}(h) + \phi_{pertes\_hvc}(h) \quad (982)$$

$Q_{sys\_fr}(h) = 0\ (Wh)$

8.10.3.3 *Réseau hydraulique de refroidissement (id_{type}=1, $id_{fonction}$=2)*

8.10.3.3.1 Calcul des pertes du réseau de distribution intergroupes

On exprime tout d'abord la température moyenne dans le réseau, en considérant que les longueurs des portions de départ et de retour sont identiques :

$$\theta_{moy}(h) = \frac{\theta_{ret}(h) + \theta_{dep}(h)}{2} \qquad (983)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces chauffés sont les suivantes :

$$\theta_{vc}(h) = \theta_{vc\_fr} \qquad (984)$$

$$\phi_{pertes\_vc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_vc\_fr} \times L_{vc} \times MIN(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{vc}(h)) \qquad (985)$$

Les pertes totales du réseau vers des espaces non-chauffés ou l'extérieur sont les suivantes :

$$\theta_{hvc}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_{vc}(h) \qquad (986)$$

$$\phi_{pertes\_hvc}(h) = Mod_{pertes}(h) \times U_{moyen\_hvc\_fr} \times L_{hvc} \times MIN\left(0; \theta_{moy}(h) - \theta_{hvc}(h)\right) \qquad (987)$$

8.10.3.3.2 Calcul de la consommation des auxiliaires de distribution

La consommation d'énergie des circulateurs du réseau secondaire dépend de leur mode de gestion, qui se traduit par un coefficient de modulation $Mod_{circ}(h)$ issu de la fiche gestion/régulation du réseau secondaire.

$$W_{aux}(h) = Mod_{circ}(h) \cdot P_{aux\_fr} \cdot (1h) \qquad (988)$$

Conventionnellement, on considère que $P_{circ\_vc} = 0\%$: l'énergie consommée par les circulateurs du réseau intergroupes n'est pas transmise à l'ambiance des locaux chauffés :

$$\Phi_{aux\_vc}(h) = P_{circ\_vc} \cdot W_{aux}(h) \ (Wh) \qquad (989)$$

8.10.3.3.3 Calcul des besoins en énergie augmentés des pertes du réseau intergroupes

La demande en énergie du couple émetteur/réseau secondaire est finalement la suivante :

$$Q_{sys\_ch}(h) = 0 \ (Wh)$$
$$Q_{sys\_fr}(h) = Q_{sys\_ds\_req\_fr}(h) + \phi_{pertes\_vc}(h) + \phi_{pertes\_hvc}(h) \qquad (990)$$

8.11 C-Dist-Gestion/régulation des réseaux de distribution des CTA

8.11.1 INTRODUCTION

Un réseau de distribution de CTA est un réseau intergroupes reliant un composant CTA (niveau zone) à un composant génération (niveau du projet).

La fiche gestion/régulation des distributions des CTA alimente la fiche composant distribution des CTA avec toutes les données nécessaires au calcul des pertes.

Elle peut permettre de modéliser des réseaux hydrauliques de chauffage et de refroidissement, ou tout simplement de modéliser un lien avec une génération directe (batterie à effet joule ou PAC à détente directe) au travers d'un réseau fictif.

Dans le cas d'un réseau hydraulique, les données suivantes sont calculées :

- Température de départ et température de retour d'eau,
- Débit volumique,
- Réduction de pertes liée à un fonctionnement intermittent,
- Coefficient de régulation des circulateurs.

La régulation de la puissance à fournir peut avoir lieu soit sur le débit (débit variable), soit sur l'écart de température départ/retour (débit constant), soit sur l'intermittence (système en tout ou rien).

On considère qu'en parallèle le système opère un contrôle sur la température en un point du réseau : température de départ constante, température de retour constante, ou température de départ fonction des conditions extérieures (en chauffage uniquement).

8.11.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 104 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

L'exposant *dCTA* représente le réseau de distribution de la CTA. L'exposant *CTA* représente la CTA elle-même.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	θ_{ext_base}	Température extérieure de base pour la zone géographique et l'altitude du projet.	°C
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
Groupes	$i_{relance}^{gr}(h)$	Indicateur de période de relance d'un groupe connecté à la CTA au pas de temps h.	Ent.
CTA	$Q_{chaud,ag}^{CTA}(h)$	Consommation d'énergie pour la sécurité antigel de la CTA.	Wh
CTA	$Q_{prechaud}^{CTA}(h)$	Consommation d'énergie due au préchauffage de la CTA.	Wh
CTA	$Q_{chaud\_(rec)}^{CTA}(h)$	Consommation d'énergie due au préchauffage des CTA à charge variable.	Wh
CTA	$Q_{prefroid}^{CTA}(h)$	Consommation d'énergie due au prérefroidissement de la CTA.	Wh
CTA	$Q_{froid\_(rec)}^{CTA}(h)$	Consommation d'énergie due au prérefroidissement des cTA à charge variable.	Wh
CTA	$Q_{chaudHR}^{CTA}(h)$	Consommation de chaud liée à l'humidification.	Wh
CTA	$\theta_{souf,mel}(h)$	Température de l'air après la boîte de mélange.	°C
CTA	$\theta_{AN}^{s}(h)$	Température de l'air neuf vu par le système de ventilation *S* (la CTA ou la VMC DF).	°C
Système de ventilation	$q_{spec\_souffle}^{gr,s}(h)$	Débit volumique spécifique soufflé au niveau du groupe *gr* par le système *S*	m^3/h
Système de ventilation	$q_{souffle,max}^{gr,s}$	Débit soufflé maximum au niveau du groupe *gr* par le système DAC S.	m^3/h
Système de ventilation	$q_{souffle,CH,max}^{gr,s}$	Débit soufflé maximum au niveau du groupe *gr* par le système DAV S.	m^3/h

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	A^{gr}	Surface utile du groupe gr desservi par la CTA.	m²	0	+∞	-
	$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution du groupe : *1 : chauffage* *2 : refroidissement*	Ent.	0	1	-
Cas de fonctionnement	$id_{prechaud}$	Indicateur de réseau de préchauffage.	Bool	0	1	-
Cas de fonctionnement	$id_{antigel}$	Indicateur de réseau associé à l'antigel.	Bool	0	1	-

	$id_{chaudHR}$	Indicateur de réseau associé à l'humidification.	Bool	0	1	-
	$id_{prefroid}$	Indicateur de réseau de prérefroidissement.	Bool	0	1	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Gestion du réseau de distribution	id_{type}	Type de réseau de distribution de CTA : 0 : réseau de distribution fictif, 1 : réseau de distribution hydraulique.	Entier	0	1	-
	id_{debit_ch} *ou* id_{debit_fr}	Mode de régulation de fonctionnement : 1 : Régulation à débit constant et fonctionnement continu, 2 : Régulation à débit constant et fonctionnement intermittent, 3 : Régulation à débit variable.	Ent	1	3	-
	id_{gest_ch} *ou* id_{gest_fr}	Mode de régulation de la température du réseau de CTA : 1 : température de départ constante, 2 : température de retour constante, 3: modulation en fonction de la température extérieure,	Ent	1	3	-
	$\theta_{ext\_lim\_ch}$	Limite de température extérieure au-delà de laquelle la température de départ adopte sa valeur minimale, en chauffage.	°C	-	-	15
	$\theta_{dep\_ch\_min}$	Valeur minimale de température de départ du réseau de CTA en chauffage en fonctionnement.	°C	-	-	20
Températures et débits de dimensionnement	$\theta_{dep\_dim\_ch}$ *ou* $\theta_{dep\_dim\_fr}$	Température de départ de dimensionnement, pour une régulation à température de départ constante ou modulée en fonction de la température extérieure (chauffage).	°C	-∞	+∞	-
	$\theta_{ret\_dim\_ch}$ *ou* $\theta_{ret\_dim\_fr}$	Température de départ de dimensionnement en chauffage, pour une régulation à température de retour constante.	°C	-∞	+∞	-
	$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}$ *ou* $\Delta\theta_{em\_dim\_fr}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution de CTA entre départ et retour, liée au dimensionnement en chauffage.	°C	-∞	+∞	-
	q_{resid}	Débit résiduel minimal dû à des circulateurs en régime de fonctionnement permanent.	m³/h	-∞	+∞	-
	q_{nom_ch} *ou* q_{nom_fr}	Débit volumique nominal dans le réseau de CTA.	m³/h	-∞	+∞	-
Gestion des circulateurs	id_{circ_ch} *ou* id_{circ_fr}	Mode de régulation du circulateur du réseau de CTA : 0 : Pas de circulateur, 1 : Vitesse constante, 2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle constante, 3 : Vitesse variable et variations de la pression différentielle du réseau.	Ent.	-1	3	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
P. et c. récup.	$Rat_{surf}^{dCTA,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par le réseau de distribution de CTA.	Réel
Réseau de distribution de la CTA	$Q_{sys\_ch}\ (h)$	Energie requise de chauffage, transmise par la CTA au réseau de distribution.	Wh
	$Q_{sys\_fr}\ (h)$	Energie requise de refroidissement, transmise par la CTA au réseau de distribution.	Wh
	$\theta_{dep}\ (h)$	Température du départ du réseau de CTA au pas de temps h.	°C
	$\theta_{ret}\ (h)$	Température du retour du réseau de CTA au pas de temps h.	°C
	$q_{eff}(h)$	Débit volumique effectif total dans le réseau de CTA.	m³/h
	$\delta_{fonct}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau: *0 : Le réseau de CTA ne débite pas,* *1 : Le réseau de CTA débite.*	Bool
	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes de réseaux en fonction de leur gestion.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation de la puissance des circulateurs en fonction de leur mode de gestion.	Réel
	A_{dess_ch}	Surface totale desservie en chaud par la distribution de CTA.	m²
	A_{dess_fr}	Surface totale desservie en froid par la distribution de CTA.	m²
Assemblage génération	θ_{max_ch}	Température maximale de la distribution de CTA en chauffage.	°C
	θ_{min_fr}	Température minimale de la distribution de CTA en refroidissement	°C
	$Rat_{bes\_ch}^{dCTA,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe relié au réseau de CTA sur la somme de tous les besoins de chauffage du réseau de CTA.	Réel
	$Rat_{bes\_fr}^{dCTA,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe relié au réseau de CTA sur la somme de tous les besoins de chauffage du réseau de CTA.	Réel
	$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre à la génération.	Ent.
	$\theta_{i,aval,eq}(h)$	Température d'air équivalente vu par les batteries de préchauffage, prérefroidissement et humidification de la CTA.	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité
$Rat_{dess}^{CTA,gr}$	Ratio de la surface desservie du groupe gr sur la surface totale desservie par la CTA.	Réel
$id_{fonction\_ch}$	Fonction de chauffage du réseau de distribution de la CTA.	Bool
$id_{fonction\_fr}$	Fonction de refroidissement du réseau de distribution de la CTA.	Bool
$q_{req}\ (h)$	Débit volumique requis pour fournir l'énergie au groupe au pas de temps h.	m³/h
$\Delta\theta_{em}$(h)	Ecart de température dans le réseau de CTA entre départ et retour.	°C

Constantes

	Nom	Description	Unité	Conv.
Propriétés de l'eau	ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau liquide dans les conditions standards de pression et de température (P = 1atm, T=20°C).	kg/m^3	998
	C_{p_eau}	Capacité thermique massique de l'eau liquide dans les conditions standards de pression et de température (P = 1atm, T=20°C).	Wh/(kg.°C)	1.163

Tableau 104 : Nomenclature du modèle

8.11.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.11.3.1 *Cohérence du montage*

Une CTA réalisant le préchauffage, l'antigel ou l'humidification doit être au moins liée à un réseau de distribution de CTA comprenant ces fonctions. Une CTA n'accepte qu'un seul réseau pour chacune de ces fonctions, un réseau pouvant en regrouper plusieurs.

Une CTA n'accepte qu'un seul réseau de prérefroidissement.

Pour vérifier la cohérence du lien entre le réseau de CTA et la génération, on détermine les indicateurs suivants :

$$\begin{cases} id_{fonction\_ch} = MAX(id_{prechaud}, id_{antigel}, id_{chaudHR}) \\ id_{fonction\_fr} = id_{prefroid} \end{cases} \quad (991)$$

8.11.3.2 *Lien avec la programmation*

Le réseau est considéré en relance lorsqu'au moins l'un des groupes connectés à la CTA est en période de relance.

$$i_{relance}(h) = MAX(i^{gr}_{relance}(h))_{gr \leftarrow CTA} \quad (992)$$

8.11.3.3 *Demande de chauffage et de refroidissement dans le réseau*

La demande de chauffage totale du réseau est la somme des demandes de préchauffage, d'antigel et d'humidification, si elles sont assurées par le réseau :

Système double flux (sans recyclage) et CTA DAC

$$\begin{cases} Q_{sys\_ch}(h) = id_{prechaud} \cdot Q_{prechaud}(h) + id_{antigel} \cdot Q_{antigel}(h) + id_{chaudHR} \cdot Q_{chaudHR}(h) \\ Q_{sys\_fr}(h) = id_{prefroid} \cdot Q_{prefroid}(h) \end{cases} \quad (993)$$

CTA DAC-TV et DAV :

$$\begin{cases} Q_{sys\_ch}(h) = id_{prechaud} \cdot Q_{Chaud(rec)}(h) + id_{antigel} \cdot Q_{antigel}(h) \\ Q_{sys\_fr}(h) = id_{prefroid} \cdot Q_{Froid(rec)}(h) \end{cases} \quad (994)$$

8.11.3.4 *Ratios de surface équivalente desservie par la bouche de soufflage*

On évalue la surface équivalente desservie pour chaque groupe par les bouches de soufflage connectées à la CTA au travers du ratio suivant (unique pour la simulation) :

Système double flux (sans recyclage) : le ratio est calculé sur la base des débits soufflés maximaux.

$$Rat^{CTA,gr}_{dess} = \frac{\sum_{s \in gr} q^{gr,s}_{soufflé,,\max}}{\sum_{grX \leftarrow CTA} \left(\sum_{s \in grX} q^{grX,s}_{soufflé,,\max} \right)} \quad (995)$$

CTA DAC, DAC-TV et DAV :

$$Rat_{dess}^{CTA,gr} = \frac{\sum_{s \in gr} q_{soufflé,CH,\max}^{g,s}}{\sum_{grX \leftarrow CTA} \left(\sum_{s \in grX} q_{soufflé,CH,\max}^{grX,s} \right)} \quad (996)$$

Les surfaces totales équivalentes desservies par la CTA sont :

$$\begin{cases} A_{dess\_ch}^{CTA} = id_{fonction\_ch} \cdot \sum_{gr \leftarrow CTA} \left(Rat_{dess}^{CTA,gr} . A^{gr} \right) \\ A_{dess\_fr}^{CTA} = id_{fonction\_fr} \cdot \sum_{gr \leftarrow CTA} \left(Rat_{dess}^{CTA,gr} . A^{gr} \right) \end{cases} \quad (997)$$

Conventionnellement, les pertes du réseau de distribution de CTA sont attribuées aux différents groupes desservis au prorata de ce ratio :

$$Rat_{surf}^{dCTA,gr} = Rat_{dess}^{CTA,gr} \quad (998)$$

8.11.3.5 *Calcul horaires des ratios de demande en chauffage et refroidissement*

Les ratios de consommations expriment la part de chacun des groupes desservis par la CTA dans le total d'énergie requis pour le préchauffage, le pré refroidissement, l'humidification et l'antigel.

En l'absence de besoins de chaud ($Q_{req\_ch}(h) = 0$) ou de froid ($Q_{req\_fr}(h) = 0$), on répartit les consommations résiduelles au prorata des surfaces équivalentes desservis dans chaque groupe.

Pour un réseau de CTA de chauffage ($id_{fonction\_ch} = 1, id_{fonction\_fr} = 0$) :

$$Rat_{bes\_fr}^{dCTA,gr}(h) = 0 \quad (999)$$

Si $Q_{req\_ch}(h) > 0$, alors,

$$Rat_{bes\_ch}^{dCTA,gr}(h) = \frac{\sum_{s \in gr} q_{spec\_souffle}^{gr,s}(h)}{\sum_{gr \leftarrow CTA} \left(\sum_{s \in gr} q_{spec\_souffle}^{gr,s}(h) \right)} \quad (1000)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_ch}^{dCTA,gr}(h) = Rat_{dess}^{dCTA,gr}$$

Pour un réseau de CTA de refroidissement ($id_{fonction\_ch} = 0, id_{fonction\_fr} = 1$) :

$$Rat_{bes\_ch}^{dCTA,gr}(h) = 0 \quad (1001)$$

Si $Q_{req\_fr}(h) < 0$, alors,

$$Rat_{bes\_fr}^{dCTA,gr}(h) = \frac{\sum_{s \in gr} q_{spec\_souffle}^{gr,s}(h)}{\sum_{gr \leftarrow CTA} \left(\sum_{s \in gr} q_{spec\_souffle}^{gr,s}(h) \right)} \quad (1002)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_fr}^{dCTA,gr}(h) = Rat_{dess}^{dCTA,gr}$$

8.11.3.6 *Description des processus de calculs*

Les processus de calculs sont exactement similaires à ceux de la fiche « *C_Dist_Gestion/régulation de la distribution du groupe* ». Se référer à cette fiche.

Selon les valeurs de id_{type} et $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	id_{fonct_ch}	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.11.3.6.1***
1	$id_{fonction\_ch}=1$ $id_{fonction\_fr}=0$	Chauffage uniquement	***Voir 8.11.3.6.2***
	$id_{fonction\_ch}=0$ $id_{fonction\_fr}=1$	Refroidissement uniquement	***Voir 8.11.3.6.3***

Tableau 105 : Récapitulatif de l'appel des procédures

8.11.3.6.1 Absence de réseau de distribution hydraulique

Les données de sortie pour la cohérence de montage sont les suivantes :

$$\theta_{\max\_ch} = 0\,(°C) \quad (1003)$$

$$\theta_{\min\_fr} = 100\,(°C) \quad (1004)$$

En plus du processus, on calcule une température d'air ambiant équivalente permettant d'alimenter la modélisation des générateurs sur air dans la génération.

Conventionnellement, cette température est prise égale à la température après la boîte de mélange pour le préchauffage et la déshumidification. Elle est prise égale au minimum des températures d'air neuf des systèmes de ventilation reliés à la CTA pour l'antigel.

Si $id_{prechaud}=1$ ou $id_{prefroid}=1$ ou $id_{chaudHR}=1$, alors,

$$\theta_{i,aval,eq}^{dCTA}(h) = \theta_{souf,mel}^{CTA}(h)\,(°C) \quad (1005)$$

Sinon, *(cas $id_{antigel}=1$ seul)*

$$\theta_{i,aval,eq}^{dCTA}(h) = \underset{s\to CTA}{MIN}(\theta_{AN}^{s}(h)) \quad (1006)$$

Le reste des calculs est similaire à celui d'une distribution du groupe. Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Gestion/régulation de la distribution du groupe* ».

8.11.3.6.2 Réseau hydraulique de chauffage

La vérification de la compatibilité de la génération en termes de températures de dimensionnement impose de connaitre les températures extrêmes sollicitées par les réseaux du groupe. Si la génération ne peut pas les atteindre, le montage est jugé incorrect.

Dans le cas où le réseau est à température de départ constante ou à régulation sur la température de départ, la référence est la température de départ. Dans le cas d'une température de retour constante, on calcule l'extrême de la température de départ dans les conditions nominales.

Si id_{gest_ch} =2, alors, $\theta_{\max\_ch} = \theta_{ret\_\dim\_ch} + \Delta\theta_{em\_\dim\_ch}$
Sinon, $\theta_{\max\_ch} = \theta_{dep\_\dim\_ch}$ (1007)

$$\theta_{\min\_fr} = 100\,(°C) \quad (1008)$$

Le reste des calculs est similaire à celui d'une distribution du groupe. Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Gestion/régulation de la distribution du groupe* ».

8.11.3.6.3 Réseau hydraulique de refroidissement

La vérification de la compatibilité de la génération en termes de températures de dimensionnement impose de connaitre les températures extrêmes sollicitées par les réseaux du groupe. Si la génération ne peut pas les atteindre, le montage est jugé incorrect.

Dans le cas où le réseau est à température de départ constante, la référence est la température de départ. Dans le cas d'une température de retour constante, on calcule l'extrême de la température de départ dans les conditions nominales.

$$\theta_{\max\_ch} = 0\,(°C) \quad (1009)$$

Si id_{gest_fr} =2, alors, $\theta_{\min\_fr} = \theta_{ret\_\dim\_fr} + \Delta\theta_{em\_\dim\_fr}$
Sinon, $\theta_{\min\_fr} = \theta_{dep\_\dim\_fr}$ (1010)

Le reste des calculs est similaire à celui d'une distribution du groupe. Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Gestion/régulation de la distribution du groupe* ».

8.12 C-Dist-Distributions intergroupes des CTA

8.12.1 NOMENCLATURE

Le Tableau 106 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}\ (h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
E.tamp.	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon.	Réel
Gestion/régulation des réseaux de distribution des CTA	$Q_{sys\_ch}\ (h)$	Energie requise de chauffage, transmise par la CTA au réseau de distribution.	Wh
	$Q_{sys\_fr}\ (h)$	Energie requise de refroidissement, transmise par la CTA au réseau de distribution.	Wh
	$\theta_{dep}\ (h)$	Température du départ du réseau de CTA au pas de temps h.	°C
	$\theta_{ret}\ (h)$	Température du retour du réseau de CTA au pas de temps h.	°C
	$q_{eff}(h)$	Débit volumique effectif totale dans le réseau de CTA.	m³/h
	$\delta_{fonct}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau: *0 : Le réseau de CTA ne débite pas,* *1 : Le réseau de CTA débite.*	Bool
	$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes de réseaux en fonction de leur gestion.	Réel
	$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation de la puissance des circulateurs en fonction de leur mode de gestion.	Réel

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
L_{vc}	Longueur de réseau de distribution situé en volume chauffé.	m	0	+∞	-
L_{hvc}	Longueur de réseau de distribution situé hors volume chauffé.	m	0	+∞	-
$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution de CTA : *1 : chauffage,* *2 : refroidissement.*	Entier	1	2	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Paramètres intrinsèques du réseau de distribution	id_{type}	Type de réseau de distribution de CTA : *0 : réseau de distribution fictif,* *1 : réseau de distribution hydraulique.*	Entier	0	1	-
	θ_{vc_ch}	Température ambiante équivalente en volume chauffée lorsque le réseau intergroupes est sollicité en chauffage.	°C	-	-	20
	θ_{vc_fr}	Température ambiante équivalente en volume chauffée lorsque le réseau intergroupes est sollicité en refroidissement. *C.*	°C	-	-	26
	P_{aux_ch}	Puissance du circulateur du réseau de CTA en chauffage.	W	0	+∞	-
	P_{aux_fr}	Puissance du circulateur du réseau de CTA en refroidissement.	W	0	+∞	-
	$U_{moyen\_vc\_ch}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le chauffage, sur sa fraction en volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moyen\_hvc\_ch}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le chauffage, sur sa fraction hors volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moyen\_vc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le refroidissement, sur sa fraction en volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	$U_{moyen\_hvc\_fr}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau pour le refroidissement, sur sa fraction hors volume chauffé.	W/(m.K)	0	+∞	-
	P_{circ_vc}	Part de la consommation électrique des circulateurs transmise à l'ambiance sous forme de chaleur.	W	0	+∞	0.5

Sorties

	Nom	Description	Unité
Distribution primaire	$Q_{sys\_ch}(h)$	Besoin en énergie de chauffage augmenté des pertes thermiques du réseau de CTA.	Wh
	$Q_{sys\_fr}(h)$	Besoin en énergie de refroidissement augmenté des pertes thermiques du réseau de CTA.	Wh
Cal. gr.	$W_{aux}\ (h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau de distribution de CTA au pas de temps h.	Wh

P. et c. récupérables	$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}(h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution de CTA en volume chauffé.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_hvc}(h)$	Pertes thermiques du réseau de distribution de CTA hors volume chauffé.	Wh
$\theta_{moy}(h)$	Température moyenne dans le réseau de distribution de CTA.	°C
$\theta_{hvc}(h)$	Température de l'air autour de la conduite hors volume chauffé.	°C

Tableau 106 : Nomenclature du modèle

8.12.2 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les processus de calculs sont similaires à ceux de la fiche « *C_Dist_Gestion/régulation de la distribution du groupe* ». Se référer à cette fiche.

Selon les valeurs de id_{type} *et* $id_{fonction,}$ se référer au chapitre cité pour la procédure utilisée.

id_{type}	$id_{fonction}$	Fonction du réseau	Processus appelé
0	/	Tous les cas	***Voir 8.8.3.1***
1	1	Chauffage uniquement	***Voir 8.8.3.2***
	2	Refroidissement uniquement	***Voir 8.8.3.3***

Tableau 107: Récapitulatif de l'appel des procédures

8.12.2.1 *Absence de réseau de distribution hydraulique*

Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Réseau de distribution du groupe en chaud et en froid* ».

8.12.2.2 *Réseau hydraulique de chauffage*

Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Réseau de distribution du groupe en chaud et en froid* ».

8.12.2.3 *Réseau hydraulique de refroidissement*

Voir chapitre identique de la fiche « *C_Dist_Réseau de distribution du groupe en chaud et en froid* ».

Note : étant donné que les réseaux de CTA peuvent desservir plusieurs groupes, les pertes thermiques des réseaux de distribution vers le volume chauffé sont calculées sur la base des températures d'ambiance conventionnelles θ_{vc_ch} *et* θ_{vc_fr}, comme c'est le cas pour les distributions intergroupes de chaud et de froid.

8.13 FA_Classement des réseaux de distribution en ou hors volume chauffé

8.13.1 INTRODUCTION

Cette partie précise les modalités de prise en compte des réseaux de distribution d'eau pour le chauffage et l'eau chaude.

Les règles Th-BCE permettent :

- De récupérer les pertes thermiques des réseaux en volume chauffé
- D'atténuer les pertes thermiques en volume non chauffé par rapport à des pertes vers l'extérieur par la création d'espace tampon

La présente fiche permet d'aider à déterminer si un réseau est situé en ou hors volume chauffé.

Les planchers chauffant et/ou rafraîchissant ne sont pas concernés par cette présente fiche.

8.13.2 PRINCIPE

La méthode s'applique de manière identique pour les réseaux du groupe et intergroupes, pour les réseaux de distribution chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

Le choix en volume chauffé (ou considéré comme chauffé) ou hors du volume chauffé dépend de l'emplacement des réseaux par rapport aux isolants de la paroi séparant le volume chauffé de celui non chauffé.

Lorsque les réseaux sont intégrés dans les parois séparant un volume chauffé d'un volume non chauffé ou l'extérieur, le réseau est considéré comme dans le volume chauffé si la résistance thermique le séparant de ce volume est inférieure à la moitié de la résistance thermique de la paroi. Cela est de fait obtenu lorsque les réseaux sont positionnés entre le volume chauffé et l'isolant séparant les deux types de volumes.

Sinon il faut les considérer hors volume chauffé.

8.13.2.1 *Exemples de réseaux en volume chauffé*

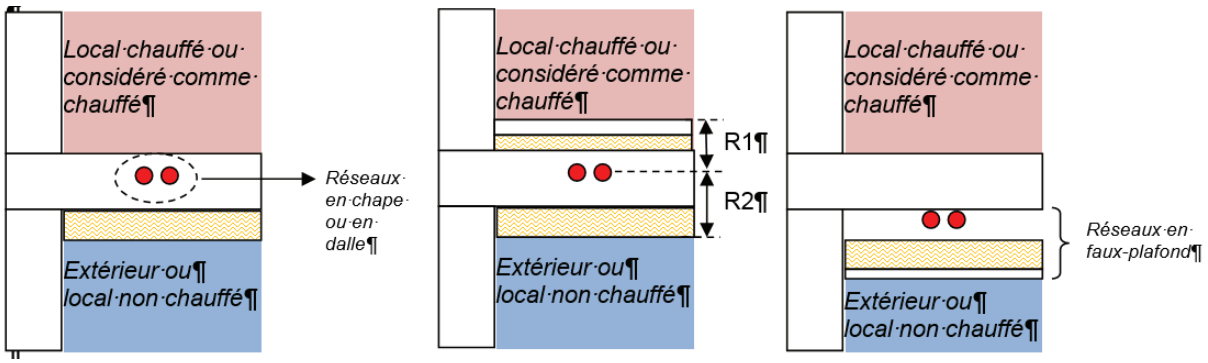


Figure 98 – Exemples de réseaux en volume chauffé (n°1 à 3 de gauche à droite). Le n°2 correspond au cas où R1 est inférieure à R2

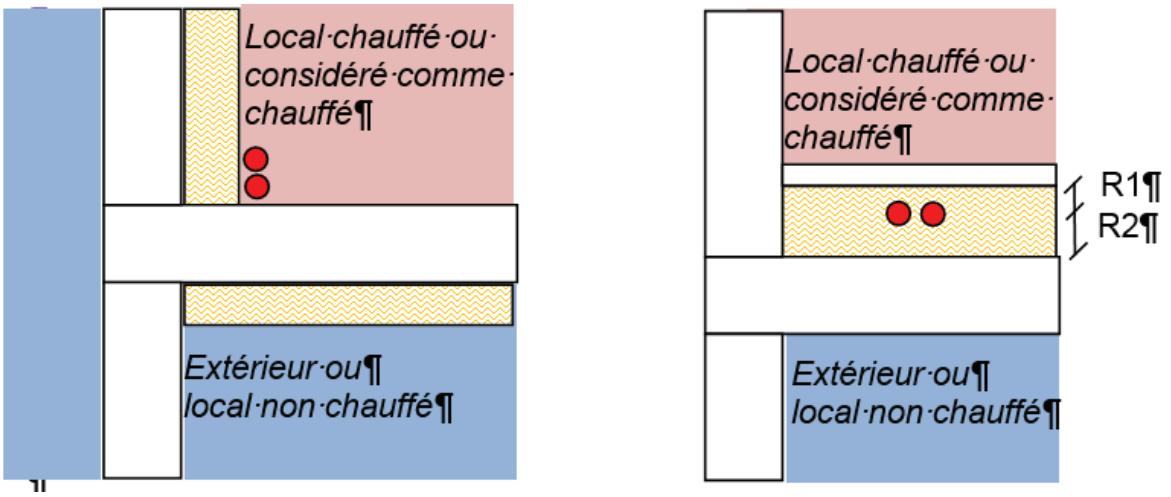


Figure 99 – Exemples de réseaux en volume chauffé (n°4 et 5 de gauche à droite). Le n°5 correspond au cas où R1 est inférieure à R2

Où R1 et R2 sont des résistances thermiques.

8.13.2.2 *Exemples de réseaux hors volume chauffé*

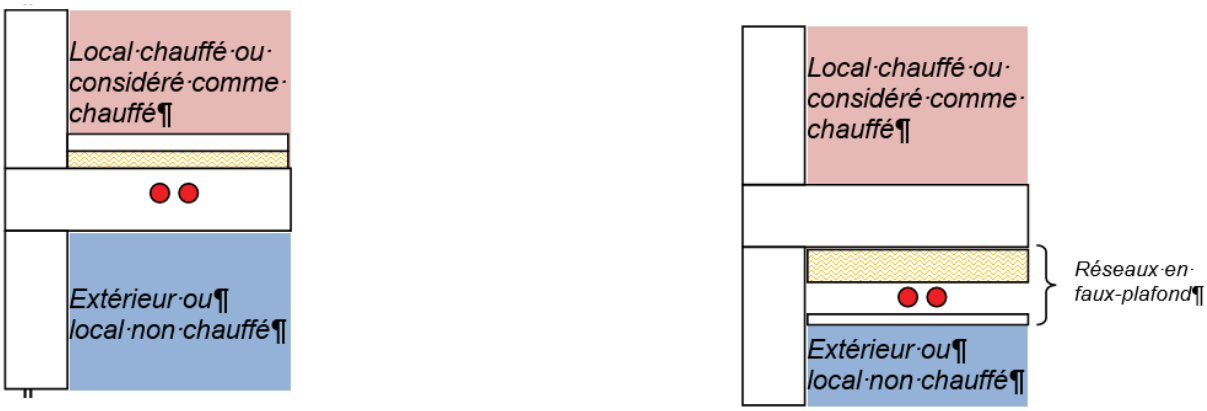


Figure 100 – Exemples de réseaux hors volume chauffé (n°1 et 2 de gauche à droite).

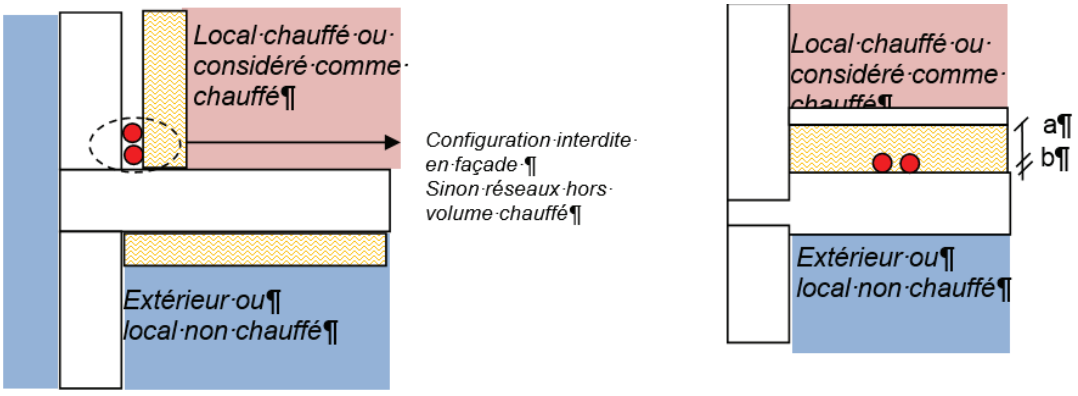


Figure 101 – Exemples de réseaux hors volume chauffé (n°3 et 4 de gauche à droite). Le numéro 4 correspond au cas où a est inférieure à b

Où a et b sont des épaisseurs.

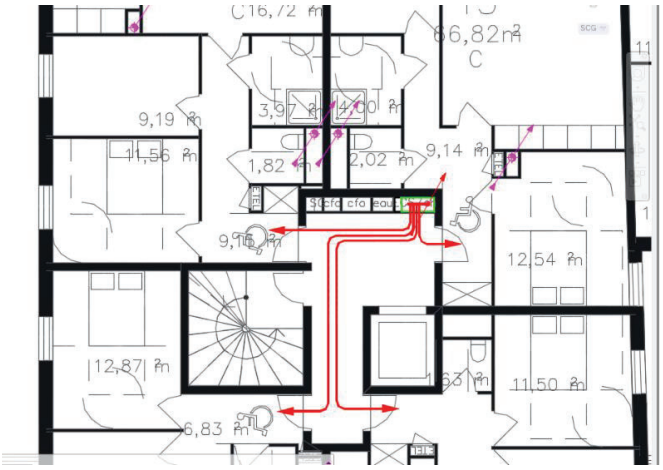
8.13.2.3 *Exemples en gaines palières et gaines logements*

En gaine palière, le choix en volume chauffé ou hors du volume chauffé des réseaux dépend de la configuration de la circulation considérée (volume chauffé, considéré comme chauffé ou non chauffé), définie conformément aux règles Th-Bat.

En gaine logement, les réseaux sont considérés en volume chauffé. En cas de paroi de gaine donnant sur l'extérieur ou un volume non chauffé, celle-ci doit être isolée.

Exemples :

Réseaux de chauffages (rouge) en circulation considérée comme chauffée :



Réseaux d'eau chaude (rouge) en gaine logement (volume chauffé) :

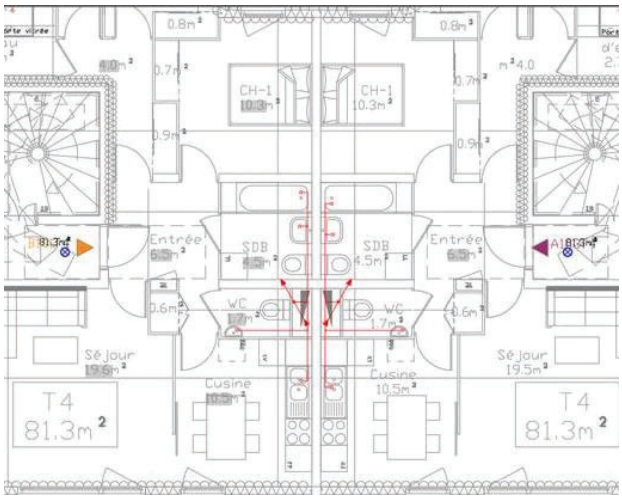


Figure 102 – Exemples de réseaux en gaines palière et gaines logements

A noter :

Bien que la réglementation thermique n'impose pas d'isoler les réseaux de distribution en dehors des volumes chauffés, il est toutefois conseillé d'isoler ces réseaux et de respecter les DTU qui continuent de s'appliquer. Cela permet d'éviter tout risque de gel, d'éviter les pertes thermiques des réseaux lorsqu'ils sont positionnés dans des espaces tampons (ex : couloirs internes), et plus généralement isoler les réseaux de distribution favorise l'utilisation des émissions terminales régulées, en particulier en mi-saison

8.14 **S1_Syst_Assemblage de la génération**

8.14.1 INTRODUCTION

Une génération reçoit les demandes en énergie d'un ou plusieurs réseaux intergroupes (chauffage/refroidissement, ou ECS, ou de CTA).

La génération se compose d'un ensemble de générateurs de type et fonction multiples, fonctionnant selon des scénarios de gestion des priorités.

On distingue les générations connectées à des réseaux hydrauliques, des générations sur l'air ambiant (connectées à des réseaux fictifs).

8.14.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 108 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Réseaux intergroupes CH/FR et ECS	$\theta_{max\_ch}^{dp}$ (ou $\theta_{max\_ch}^{dCTA}$)	Température maximale de la distribution intergroupe en chauffage.	°C
	$\theta_{min\_fr}^{dp}$ (ou $\theta_{min\_fr}^{dCTA}$)	Température minimale de la distribution intergroupe en refroidissement	°C
	$Q_{sys\_ch}^{dp}(h)$ (ou $Q_{sys\_ch}^{dCTA}(h)$)	Besoins horaires en chauffage augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes de chauffage	Wh
	$Q_{sys\_fr}^{dp}(h)$ (ou $Q_{sys\_fr}^{dCTA}(h)$)	Besoins horaires en chauffage augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes.	Wh
	$Q_{w\_e}^{dp\text{-}e}(h)$	Besoins horaires en ECS augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes ECS.	Wh
	$W_{rechauf\text{-}e}^{dp\text{-}e}(h)$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
	$\theta_{moy}^{dp}(h)$ $\theta_{moy}^{dCTA}(h)$	Températures moyennes des différents réseaux de chauffage et de refroidissement.	°C
	$\theta_{dep}^{dp}(h)$ (ou $\theta_{dep}^{dCTA}(h)$)	Températures de départ des différents réseaux de chauffage et de refroidissement.	°C
	$\theta_{i,aval,eq}^{dp}(h)$	Température d'air équivalente vu par la distribution intergroupes.	°C
	$\theta_{moy}^{dp\text{-}e}(h)$	Températures moyennes des différents réseaux intergroupes d'ECS.	°C
	$\theta_{dep}^{dp\text{-}e}(h)$	Températures de départ des différents réseaux intergroupes d'ECS.	°C
	$id_{encl}^{dp\text{-}e}(j)$	Indicateur qui précise si le jour *j* est inclu dans la période de fonctionnement du réseau intergroupe.	Bool

	$A_{dess\_ch}^{dp}$ (ou $A_{dess\_ch}^{dCTA}$)	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en chauffage.	Réel
	$A_{dess\_fr}^{dp}$ (ou $A_{dess\_fr}^{dCTA}$)	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en refroidissement.	Réel
	$A_{dess\_ecs}^{dp-e}$	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en ECS.	Réel
Det. des saisons syst.	$Aut_{ch}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en chauffage.	Bool
	$Aut_{fr}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en refroidissement.	Bool

Données d'entrée de la fiche « Sources amont des générateurs thermodynamiques »

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Paramètres de la gestion/régulation de la génération	Emplacement de la génération.	-	-	-	-
Paramètres des générateurs	Nombre de générateurs identiques, niveau de priorité au niveau de la génération.	-	-	-	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Paramètres de la gestion/régulation de la génération	Gestion de la priorité, organisation hydraulique des générateurs et des réseaux de distribution.	-	-	-	-
Paramètres des générateurs	Type, fonction, matrices de fonctionnement, rendements ou efficacités, puissances nominales, températures de fonctionnement.	-	-	-	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Calculs groupe	$Q_{req,ch}^{gen,gr}$ (h)	Demande en énergie de chauffage au niveau de la génération *gen* pour le groupe *gr*.	Wh
	$Q_{req,fr}^{gen,gr}$ (h)	Demande en énergie de refroidissement au niveau de la génération *gen* pour le groupe *gr*.	Wh

	$\{Q_{cef(po.;én.)}^{gen,gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie, répartie au niveau du groupe	Wh
P. et c.aux. recup.	$\Phi_{vc\_tot}(h)$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération.	Wh
	$Rat_{surf\_gen}^{gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-
	Indicateurs de sous-dimensionnement de la génération pour les différents postes.		
	Résultats annuels et mensuels de consommations de la génération		
	Résultats annuels et mensuels de consommations des générateurs		

Tableau 108 : Nomenclature du modèle

8.14.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

L'assemblage de la génération est organisé de la manière suivante :

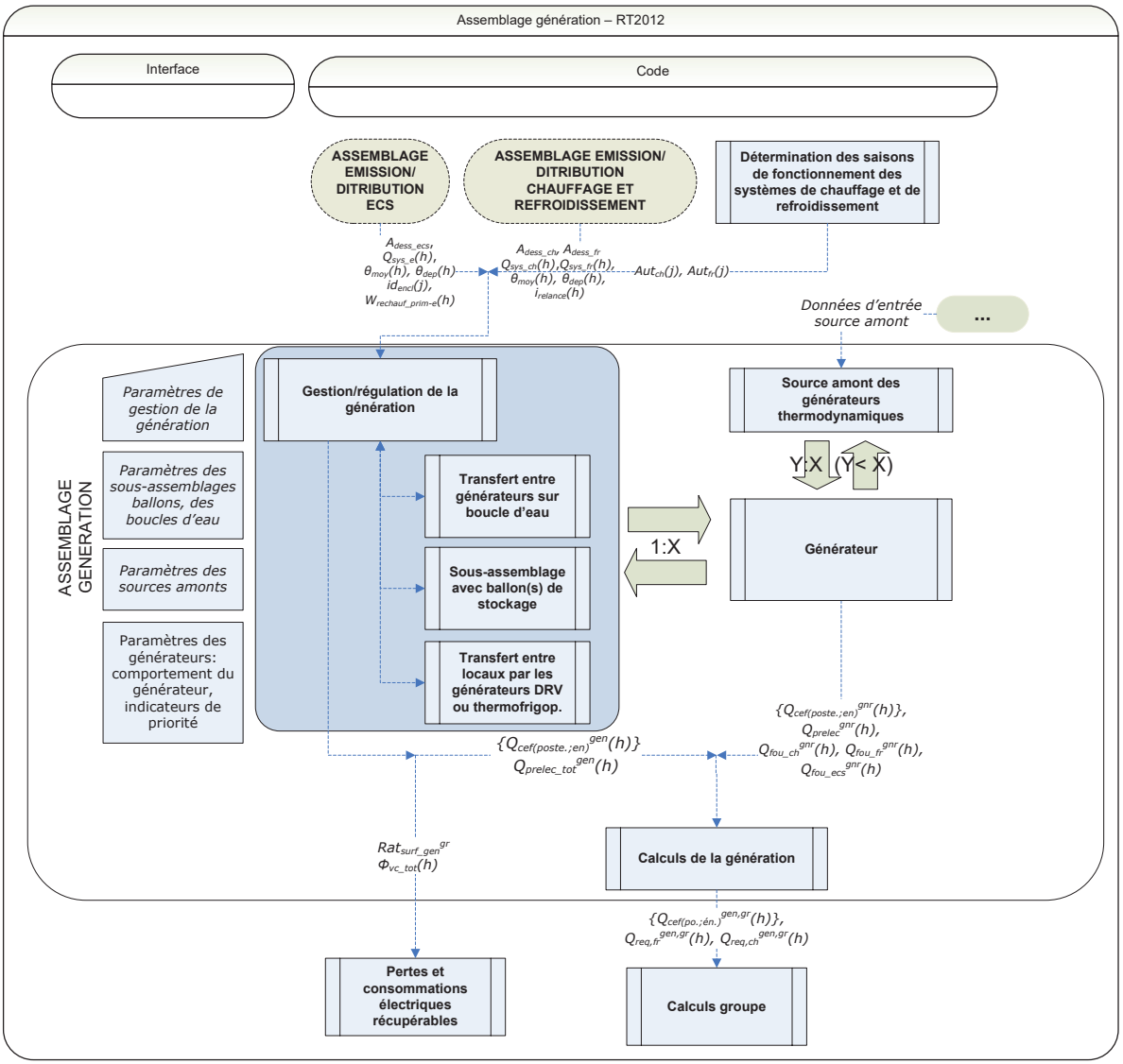


Figure 103 : Assemblage de la génération

Les composants intégrés dans l'assemblage sont les suivants :

- **Source amont des générateurs thermodynamiques** : intervient pour le calcul des températures de source des générateurs thermodynamiques, ainsi que les consommations d'auxiliaires associées (cas des tours de refroidissement, des puisages ou captages, des boucles d'eau…).

- **Gestion/régulation de la génération de chauffage et de refroidissement** : ce composant est unique pour une génération et gère la distribution de la demande en énergie entre les différents composants et générateurs. La fiche centralise également les calculs de report d'énergie, de températures de fonctionnement, et de ratios de répartition des pertes récupérables,

- **Transferts entre générateurs sur boucle d'eau** : effectue le bilan énergétique d'une boucle d'eau, et incluse l'appel des PAC, du générateur de chauffage et de la tour de refroidissement associés à la boucle.

- **Transferts entre locaux par les générateurs DRV et thermofrigopompes :** effectue un bilan simplifié des transferts d'énergie entre locaux au travers des générateurs DRV et des thermofrigopompes, afin d'aboutir au calcul de leurs consommations.

- **Sous-assemblage avec ballon(s) de stockage :** modélise le comportement thermique d'un ou plusieurs ballons de stockage, et pilote les générateurs de base et d'appoint de ces ballons.

- **Générateur**: composant décrivant le comportement d'un générateur (ou ensembles de générateurs identiques) en fonction d'une charge, de températures de source et de températures de fonctionnement données.

- **Calculs de la génération** : réalise l'ensemble des calculs annuels et mensuels de consommations des générateurs et de la génération. Gère également la distribution des consommations par groupe à partir des ratios préalablement calculés.

Les sorties principales de l'assemblage génération sont les suivantes :

- Consommations sur les différentes postes (chauffage, ECS, refroidissement, comprenant les consommations des auxiliaires de génération) et pour les différents types d'énergie. Ces données sont regroupées et sommées dans la fiche ***Calculs groupe***.

- Pertes et consommations récupérables par le volume chauffé sous forme de chaleur ou de puissance de froid. Ces dernières sont regroupées et sommées dans la fiche ***Calcul des pertes et consommations récupérables***. Elles sont ensuite transmises aux groupes desservis au pas de temps suivant.

- Surplus d'énergie par poste qui reste à fournir dans le cas où la génération a été incapable d'assurer la demande au pas de temps *h*. Cette donnée est récupérée par la génération au pas de temps *h+1*.

8.15 C_Gen_Transferts Entre Generateurs Sur Boucle D'eau

8.15.1 INTRODUCTION

Certains systèmes de traitement des ambiances permettent des transferts d'énergie entre des locaux dans des situations thermiques différentes. Il peut y avoir transfert d'énergie entre des locaux en demande de froid et d'autres en demande de chaud via le système, ce qui permet de réduire la demande aux générateurs.

On vise ici les PAC sur boucle d'eau.

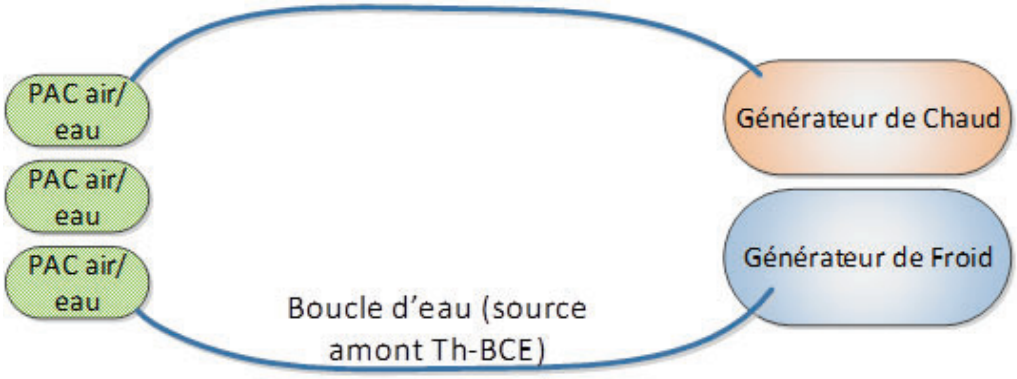


Figure 104 – schéma de principe des systèmes dits de pompes à chaleur sur boucle d'eau

Les pompes à chaleurs qui traitent les locaux et sont connectées à la boucle d'eau sont traitées comme des groupes frigorifiques eau / air.

La boucle d'eau, elle, assure les transferts entre PAC de groupes différents et ainsi reçoit les rejets thermiques / frigorifiques des pompes à chaleur (selon le mode de fonctionnement). Elle est reliée, pour son maintien en température, à une source de chaleur (chaudière ou tout autre générateur sur eau) et à une source de froid (tour de refroidissement ou tout autre générateur de froid sur eau).

8.15.2 NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur.	°C
	$\omega_{ext}(h)$	Humidité spécifique de l'air extérieur	kg/kg as
G/R de la génération	$Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de chauffage au niveau de la génération *gen* pour le groupe *gr*.	Wh
	$Q_{req,fr}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de refroidissement au niveau de la génération *gen* pour le groupe *gr*.	Wh
Reports d'énergie	$Q_{rep\_ch}(h\text{-}1)$	Demande en énergie totale de chaud de la génération reportée au pas de temps h.	Wh
	$Q_{rep\_fr}(h\text{-}1)$	Demande en énergie totale de chaud de la génération reportée au pas de temps h.	Wh
	$Q_{rep\_BE\_ch}^{gr}(h\text{-}1)$	Energie en chauffage reportée du pas de temps précédent.	Wh
	$Q_{rep\_BE\_fr}^{gr}(h\text{-}1)$	Energie en refroidissement reportée du pas de temps précédent.	Wh
Det. des saisons syst.	$Aut_{ch}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en chauffage.	Bool
	$Aut_{fr}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en refroidissement.	Bool
Températures foinctionnement	$\theta_{aval\_ch}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage.	°C
	$\theta_{aval\_fr}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en refroidissement.	°C
Sour. amont	$\theta_{be}(j)$	Température de l'eau dans la boucle le jour j.	°C
	$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont des générateurs thermodynamiques *gnr* correspondant à la température mensuelle de la boucle d'eau.	°C

Paramètres intrinsèques

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
R_{eff_trBE}	Ratio d'efficacité du transfert d'énergie (conventionnel).	-	0	1	0.8

Chaudière	P_{ngen_ch}	Puissance fournie nominale du générateur en chauffage et ECS.	W	0	+∞	-
	P_{ngen_fr}	Puissance fournie nominale du générateur en refroidissement.	W	0	+∞	-
	P_{ngen}	Puissance utile nominale de la chaudière.	kW	0	+∞	-
	$\Theta_{max\_rech\_BE}$	Température de fonctionnement maximale de chauffage de la boucle d'eau.	°C	20	100	
	$\Theta_{min\_fr\_BE}$	Température de fonctionnement minimale de refroidissement de la boucle d'eau.	°C			
Tour de refroidissement sur la boucle	id_{tour}	Type de tour de refroidissement : *0 : Autre,* *1 : Tour humide,* *2 : Tour sèche.*	Ent	0	2	-
	$q_{v,nom,tour}$	Débit nominal d'eau à refroidir circulant dans la tour sèche ou humide (paramètre de dimensionnement).	m^3/h	0	+∞	-
	P_{pompes_tour}	Puissance électrique des pompes du circuit de la tour de refroidissement.	W	0	+∞	-
	P_{vent_tour}	Puissance électrique des ventilateurs de la tour.	W	0	+∞	-
	$\Delta\theta_{tour}$	1) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour humide et la température humide de l'air extérieur. 2) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour sèche et la température de l'air extérieur.	°C	0	+∞	
	$\theta_{es\_tour\_consigne}$	Consigne de température d'eau en sortie de tour.	°C	-∞	+∞	-

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$N_{pbe}^{gnr,gr}$	Nombre de générateurs thermodynamiques identiques sur la BE et appartenant au groupe gr.	-	1	+∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{aval\_chaud\_BE}(h)$	Température de fonctionnement du générateur de chaud associé à la boucle d'eau.	°C
$\theta_{aval\_froid\_BE}(h)$	Température de fonctionnement du générateur de froid associé à la boucle d'eau.	°C
$\Phi_{rejet}^{gnr}(h)$	Puissance rejetée par le générateur thermodynamique *gnr* (valeur positive	W

		en refroidissement et négative en chauffage).	
	$Q_{req\_BE\_ch}^{gr}(h)$	Demande totale en chauffage sur les générateurs thermodynamiques de la boucle d'eau pour le groupe *gr*.	Wh
	$Q_{req\_BE\_fr}^{gr}(h)$	Demande totale en froid sur les générateurs thermodynamiques de la boucle d'eau pour le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{rejet\_totBE\_ch}(h)$	Rejet de froid total des PAC en mode chauffage sur la boucle d'eau.	W
	$\Phi_{rejet\_totBE\_froid}(h)$	Rejet de chaleur total des PAC en mode refroidissement sur la boucle d'eau.	W
	$Q_{sys\_BE\_ch}(h)$	Demande en énergie de chauffage transmise aux générateurs qui desservent la boucle d'eau.	Wh
	$Q_{sys\_BE\_fr}(h)$	Demande en énergie de refroidissement transmise aux générateurs qui desservent la boucle d'eau.	Wh
Gestion des générateurs thermodynamiques sur BE	$P_{ngen\_tot\_ch}^{gr}$	Puissance nominale totale en chauffage des PAC sur boucle d'eau pour le groupe *gr*.	Réel
	$P_{ngen\_tot\_fr}^{gr}$	Puissance nominale totale en refroidissement des PAC sur boucle d'eau pour le groupe *gr*.	Réel
	$Rat_{pngen\_ch}^{gnr,gr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs sur boucle d'eau, au prorata de leurs puissances nominales en chauffage, pour le groupe *gr*.	Réel
	$Rat_{pngen\_fr}^{gnr,gr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs sur boucle d'eau, au prorata de leurs puissances nominales en refroidissement, pour le groupe *gr*.	Réel
Tour de refroidissement	θ_{es_tour}	Température d'eau en sortie de tour	°C
	W_{pompes_tour}	Consommation électrique des pompes du circuit de refroidissement	Wh
	P_{max}	Puissance maximale de froid que peut fournir la tour dans les conditions du pas de temps actuel.	W
	W_{vent_tour}	Consommation électrique des ventilateurs de la tour.	Wh

Sorties

	Nom	Description	Unité
Report d'énergie	$Q_{rep\_ch}(h)$	Demande en énergie totale de chaud de la génération reportée au pas de temps h+1.	Wh
	$Q_{rep\_fr}(h)$	Demande en énergie totale de froid de la génération reportée au pas de temps h+1.	Wh

	$Q_{rep\_BE\_ch}^{gr}(h)$	Energie restant à fournir pour les générateurs thermodynamiques sur boucle d'eau (reportée au pas de temps suivant).	Wh
	$Q_{rep\_BE\_fr}^{gr}(h)$	Energie reprise pour les générateurs thermodynamiques sur boucle d'eau au pas de temps suivant.	Wh
	$\{Q_{cef(po.;en)}^{gnr}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale du générateur *gnr*.	Wh
	$\{Q_{cef(po;en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
Calculs génération	$Q_{cons}^{gnr}(h)$	Energie consommée hors auxiliaires du générateur *gnr*.	Wh
Calculs génération	$Q_{fou\_ch}^{gnr}(h)$, $Q_{fou\_fr}^{gnr}(h)$, $Q_{fou\_ecs}^{gnr}(h)$	Energies fournies par le générateur *gnr* par poste au pas de temps h.	Wh
Calculs génération	$Q_{prelec}^{gnr}(h)$	Energie électrique produite pas le générateur *gnr* au pas de temps h.	Wh
Calculs génération	$W_{aux}^{gnr}(h)$	Consommation électrique globale des auxiliaires du générateur *gnr*.	Wh
Calculs génération	$W_{aux,pro}^{gnr}(h)$	Consommations électrique des auxiliaires propres au générateur *gnr*.	Wh
Données par générateur	$\tau_{charge}^{gnr}(h)$	Taux de charge du générateur *gnr*.	Réel
Données par générateur	$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques du générateur *gnr* vers l'ambiance.	Wh
Données par générateur	$\eta_{eff\_ch}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en chauffage.	Réel
Données par générateur	$\eta_{eff\_fr}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en refroidissement.	Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_v	Chaleur massique de la vapeur d'eau	J/kg K	1830
C_{pe}	Chaleur massique de l'eau	J/kg K	4180
ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau	kg/ m^3	1000
C_a	Chaleur massique de l'air	J/kg K	1006
H_{fg}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	J/kg K	25.10^5

Tableau 109 : Nomenclature du modèle

8.15.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.15.3.1 ***Description d'une boucle d'eau et ses composants***

Une boucle d'eau est décrite sous la forme d'une génération, comprenant :

- au moins un générateur de type générateur thermodynamique sur boucle d'eau (id_{type} =507),
- une source amont de type boucle d'eau ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=*1* et $id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=*3*),
- *un générateur de chauffage (id_{fougen} = 1 et id_{type} ≠507) et/ou un générateur de froid (id_{fougen} = 2 et id_{type} ≠507)*

Note : la tour de refroidissement est intégrée dans la source amont boucle d'eau et non dans la génération comme les générateurs de froid assurant le refroidissement de la boucle. Il ne s'agit pas d'un composant à part entière. Il sera cependant renseigné dans la source amont si la source de froid est une tour de refroidissement (Id_{tour} = 1 ou 2), ou si la source de froid est un autre générateur de froid (Id_{tour} = 0).

Tout assemblage ne décrivant que de manière incomplète la boucle d'eau (non-respect de la liste de composant ci-dessus) est considéré comme non-valide.

Dans la suite de la fiche, on notera $\mathbf{G_{BE}}$ l'ensemble des X générateurs thermodynamiques sur la boucle d'eau décrit au sein de la génération *gen*.

Chaque composant générateur de cet ensemble est associé à un des groupes desservis par la boucle (lien d'interface).

La somme de tous les ensembles de générateur identiques pour un groupe donné forme l'ensemble $\mathbf{G_{BE}^{gr}}$. Selon les valeurs de $Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$ et $Q_{req,fr}^{gen,gr}(h)$, on connait l'état (fonctionnement en chaud, en froid ou générateur à l'arrêt) des générateurs de $\mathbf{G_{BE}^{gr}}$**.**

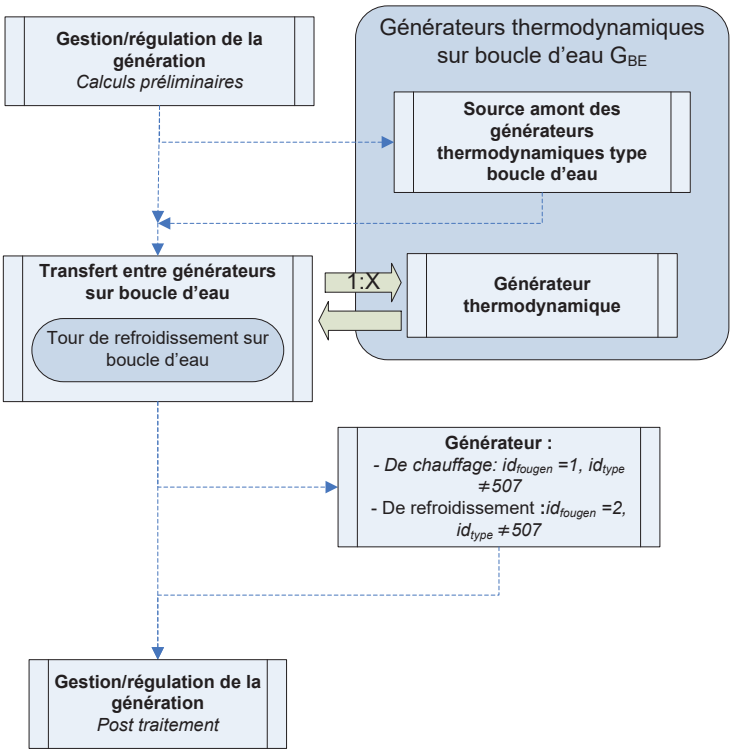


Figure 105: Séquence d'appel des composants pour la modélisation d'une boucle d'eau - Description algorithmique

8.15.3.2 *Description des PAC sur boucle d'eau par groupe (aucun changement)*

En début de simulation, on initialise des clés de répartition entre générateurs pour le poste chauffage et le poste refroidissement :

$$\begin{cases} P_{ngen\_tot\_ch}^{gr} = \sum_{gnr \in GBE} N_{pbe}^{gnr,gr} . P_{ngen\_ch}^{gnr} \\ P_{ngen\_tot\_fr}^{gr} = \sum_{gnr \in GBE} N_{pbe}^{gnr,gr} . P_{ngen\_fr}^{gnr} \end{cases} \quad (1011)$$

$$\begin{cases} Rat_{pngen\_ch}^{gnr,gr} = \dfrac{N_{pbe}^{gnr,gr} . P_{ngen\_ch}^{gnr}}{P_{ngen\_tot\_ch}^{gr}} \\ Rat_{pngen\_fr}^{gnr,gr} = \dfrac{N_{pbe}^{gnr,gr} . P_{ngen\_fr}^{gnr}}{P_{ngen\_tot\_fr}^{gr}} \end{cases} \quad (1012)$$

8.15.3.3 *Traitement des PAC sur la boucle d'eau par groupe*

Chaque groupe est associé à une demande de chauffage ou une demande de refroidissement, calculée dans « *C_Gen_Gestion/régulation de la génération* ». Un premier traitement a lieu par groupe de PAC sur boucle d'eau d'un même groupe *gr*, selon les besoins et l'état des saisons de ce groupe.

Pour chaque groupe *gr* associé à une même génération de type boucle d'eau, on applique l'algorithme suivant :

Groupe en mi-saison : $Aut_{fr}(j) \neq 1$ et $Aut_{ch}(j) \neq 1$
Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

Groupe en demande de refroidissement, ou sans besoins et hors saison de chauffage:

$Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) > 0$ ou $Aut_{ch}(j) \neq 1$ (avec $Aut_{fr}(j) = 1$)

Les PAC sur boucle d'eau du groupe *gr* fonctionnent en mode refroidissement, à charge nulle ou non-nulle.

$$id_{fonction} = 2 \quad (1013)$$

$$Q_{req\_BE\_fr}^{gr}(h) = Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) + Q_{rep\_BE\_fr}^{gr}(h) \quad (1014)$$

$$Q_{rep\_BE\_fr}^{gr}(h) = 0$$

DEBUT DE LA BOUCLE : générateur $gnr \in G_{BE}^{gr}$ (1015)

Charge du générateur

$$Q_{req} = \frac{Rat_{pngen\_fr}^{gnr,gr}}{\sum_{gnr \in G_{BE}^{gr}} Rat_{pngen\_fr}^{gnr,gr}} \times Q_{req\_BE\_fr}^{gr}(h)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Indicateur de refroidissement :

Si $Q_{req} > 0$, alors, $i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) = 1$

Calcul du ratio de puissance disponible

$R_{pui\_dispo} = 1$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(2;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval\_fr}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(2;enr)}^{gnr}(h)\} += \{Q_{cef(2;enr)}\} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) += Q_{cons} \\ Q_{fou\_fr}^{gnr}(h) = Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) += Q_{prelec} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) += R_{pui\_dispo} . \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi_{rejet}^{gnr}(h) += \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h) += \phi_{vc} \\ W_{aux,pro}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta_{eff\_fr}^{gnr}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Ajout du surplus de demande à l'énergie reportée

$$Q_{rep\_BE\_fr}^{gr}(h) += Q_{rest}$$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{BE}^{gr}$

ou FIN DE LA BOUCLE

Groupe en demande de chauffage, ou sans besoins et en saison de chauffage: $Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) > 0$ ou $Aut_{ch}(j) = 1$ (avec$Aut_{fr}(j) \neq 1$ ou $Aut_{fr}(j) = 1$)

Les PAC sur boucle d'eau du groupe *gr* fonctionnent en mode chauffage, à charge nulle ou non-nulle.

$$id_{fonction} = 1 \quad (1016)$$

$$Q_{req\_BE\_ch}^{gr}(h) = Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) + Q_{rep\_BE\_ch}^{gr}(h) \quad (1017)$$

$$Q_{rep\_BE\_ch}^{gr}(h) = 0$$

DEBUT DE LA BOUCLE : générateur$gnr \in G_{BE}^{gr}$ (1018)

Charge du générateur

$$Q_{req} = \frac{Rat_{pngen\_fr}^{gnr}}{\sum_{gnr \in G_{BE}^{gr}} Rat_{pngen\_fr}^{gnr}} \times Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui\_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \text{s}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(1;enr)}^{gnr}(h)\} \mathrel{+}= \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q_{fou\_ch}^{gnr}(h) = Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} . \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi_{rejet}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W_{aux,pro}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ \eta_{eff\_ch}^{gnr}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Ajout du surplus de demande à l'énergie reportée

$$Q_{rep\_BE\_ch}^{gr}(h) \mathrel{+}= Q_{rest}$$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{BE}^{gr}$
ou FIN DE LA BOUCLE

8.15.3.4 *Bilan énergétique de la boucle d'eau*

La première étape du calcul consiste à analyser les rejets chaud et froid des différents générateurs thermodynamiques sur la boucle.

$$\phi_{rejet\_totBE\_ch}(h) = \sum_{gnr \in GBE} MIN\,(0; \phi_{rejet}^{gnr}(h)) \quad (1019)$$

$$\phi_{rejet\_totBE\_fr}(h) = \sum_{gnr \in GBE} MAX\,(0; \phi_{rejet}^{gnr}(h)) \quad (1020)$$

La quantité d'énergie totale transférée sur la boucle est la suivante :

$$Q_{transfert\_BE}(h) = MIN\left(\phi_{rejet\_totBE\_ch}(h); \phi_{rejet\_totBE\_fr}(h)\right) \times R_{eff\_trBE} \quad (1021)$$

Conventionnellement, l'efficacité du transfert R_{eff_trBE} est fixée à 0.8.

Les puissances à fournir par les équipements de la boucle sont alors égales à :

$$\begin{cases} Q_{sys\_BE\_ch}(h) = \phi_{rejet\_totBE\_ch}(h) - Q_{transfert\_BE}(h) \\ Q_{sys\_BE\_fr}(h) = \phi_{rejet\_totBE\_fr}(h) - Q_{transfert\_BE}(h) \end{cases} \quad (1022)$$

8.15.3.5 *Chauffage et refroidissement de la boucle d'eau*

Le refroidissement de la boucle peut être assuré par tous les générateurs de froid de la méthode Th-BCE dont l'idtype est différent de 507 et dont le fluide aval est de l'eau :

- *PAC à compression électrique ou gaz eau/eau, PAC à compression électrique air/eau, PAC à compression électrique eau de nappe/eau : idtype=503*
- *Thermofrigopompe : idtype = 508*
- *PAC à absorption gaz, air/eau ou eau/eau : idtype=504*
- *Réseau de froid : idtype = 601*
- *Tout système générateur de froid intégré en tant que Titre V dont le fluide aval est l'eau*

Le refroidissement de la boucle peut aussi être assuré par une tour de refroidissement, modélisée déjà modélisée dans la partie source amont de la boucle d'eau.

Le chauffage de la boucle peut être assuré par tous les générateurs de chaleur de la méthode Th-BCE dont l'idtype est différent de 507 et dont le fluide aval est de l'eau:

- *Chaudière standard au gaz : idtype = 100*
- *Chaudière basse température au gaz : idtype = 101*
- *Chaudière à condensation au gaz : idtype = 102*
- *Chaudière standard au fioul : idtype = 200*
- *Chaudière à condensation au fioul : idtype = 201*
- *Chaudière au bois : idtype = 400*

- *PAC à compression électrique eau/eau, PAC à compression électrique air/eau, PAC à compression électrique eau de nappe/eau : idtype=503*
- *PAC à absorption gaz, air/eau ou eau/eau : idtype=504*
- *Thermofrigopompe : idtype = 508*
- *Réseau de chaleur : idtype = 600*
- *Système de cogénération : idtype = 700*
- *Tout système générateur de chaud intégré en tant que Titre V dont le fluide aval est l'eau*

8.15.3.6 *Description du générateur de chauffage de la boucle d'eau*

La description du générateur de chauffage de la boucle est réalisée par introduction dans la génération d'un générateur de chauffage autre qu'une PAC sur boucle d'eau (id_{fougen} = *1 et et idtype ≠ 507*). Ce générateur est décrit sous la forme d'un composant à part entière crée au niveau de la génération.

La première étape est le calcul de la température de fonctionnement (aval) du générateur de chauffage sur boucle d'eau. A défaut d'informations sur le type et le dimensionnement de la boucle d'eau, on l'estime sur la base de la température de boucle d'eau au jour considéré, en considérant qu'elle obéit à une loi de proportionnalité par rapport la charge du générateur (la référence étant P_{ngen}).

$$\theta_{aval\_chaudBE}(h) = MIN\left[\theta_{max\_rech\_BE}; \theta_{be}(j) + \frac{Q_{sys\_BE\_ch}(h) + Q_{rep\_ch}(h-1)}{P_{ngen}} \times \left(\theta_{max\_rech\_BE} - \theta_{be}(j)\right)\right] \quad (1023)$$

L'algorithme d'appel de ce générateur est le suivant :

$$id_{fonction} = 1 \quad (1024)$$

- **Hors saison de fonctionnement :** $Aut_{ch}(j) \neq 1$
  Le générateur est désactivé pour le poste considéré.
- **En saison de fonctionnement :** $Aut_{ch}(j) = 1$

Soir le générateurgnrde chauffage de la boucle d'eau : (1025)

Charge du générateur

$$Q_{req} = Q_{sys\_BE\_ch}(h) + Q_{rep\_ch}(h-1)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui\_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix}$$

$$= AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta_{aval\_chaudBE}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \left\{Q^{gnr}_{cef(1;enr)}(h)\right\} += \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) = Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) += R_{pui\_dispo} \cdot \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{rejet}(h) += \phi_{rejet} \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta^{gnr}_{eff\_ch}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de chauffage)

$$Q_{rep\_ch}(h) = Q_{rest}$$

8.15.3.7 *Description du générateur de froid de la boucle d'eau*

La description du générateur de refroidissement de la boucle est réalisée par introduction dans la génération d'un générateur de refroidissement autre qu'une PAC sur boucle d'eau (id_{fougen} = 2 et idtype ≠ 507) ou bien par une tour de refroidissement. Ce générateur est décrit sous la forme d'un composant à part entière crée au niveau de la génération, sauf pour la tour de refroidissement qui n'est pas un générateur à part entière et qui est décrit dans la source amont.

8.15.3.7.1 Composant tour de refroidissement

La tour de refroidissement obéit à la description d'un générateur standard, avec un jeu de données de sortie standard. La description de ses caractéristiques se fait dans l'objet source amont.

La modélisation du comportement de la tour est basée sur un calcul horaire de la température d'eau en sortie de la tour θ_{es_tour}. On fait l'hypothèse qu'en sortie de la tour de refroidissement l'eau a atteint à un écart de $\Delta\theta_{tour}$ près la température extérieure (tour sèche : id_{tour} =2) ou la température humide de l'air en sortie de la tour (tour humide : id_{tour} =1).

Si la source de refroidissement de la boucle d'eau n'est pas une tour de refroidissement, on a : id_{tour} = 0 : Autre. Dans ce cas, la source de froid est un générateur de froid id_{type} ≠ 507.

L'algorithme de calcul de θ_{es_tour} est celui décrit dans la fiche « *C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques* ».

Une fois cette étape réalisée, on détermine la consommation d'énergie de la tour de refroidissement par l'algorithme suivant :

- **Hors saison de fonctionnement :** $Aut_{fr}(j) \neq 1$

La tour de refroidissement est désactivée pour le poste considéré.

- **En saison de fonctionnement :** $Aut_{fr}(j) = 1$

La puissance maximale de refroidissement pouvant être fournie par la tour de refroidissement est calculée en considérant que l'eau pénètre par un piquage dans la tour à la température moyenne d'eau de la boucle d'eau $\theta_{amont}(h)$ et en ressort à la température θ_{es_tour}. Le débit est supposé égal au débit nominal $q_{v,nom,tour}$. Etant donné la plage de température d'eau au cours de ce processus d'échange, la masse volumique de l'eau est considérée constante.

Charge de la tour de refroidissement

$$Q_{req} = Q_{sys\_BE\_fr}(h) + Q_{rep\_fr}(h-1) \quad (1026)$$
$$Q_{rest} = 0$$

On caractérise la tour de refroidissement à la manière d'un générateur :

Description des performances de la tour de refroidissement

$$P_{max} = q_{v,nom,tour} . \rho_{eau} . C_{pe} . MAX(0; \theta^{SA}_{amont}(h) - \theta_{es\_tour})$$
$$Q_{fou} = MIN(Q_{req}; P_{max}$$
$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fou}}{P_{max}}$$
$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{fou}$$

Consommation de la tour de refroidissement

$$\begin{cases} W_{pompes\_tour} = P_{pompes\_tour} \times \tau_{charge} \\ W_{vent\_tour} = P_{vent\_tour} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad (1027)$$
$$Q_{cons} = W_{pompes\_tour} + W_{vent\_tour}$$

Remplissage de la matrice des consommations de la tour de refroidissement

$$Q_{cef(2;5)} = Q_{cons}$$

On définit ensuite le jeu de données de sortie de la tour à la manière d'un générateur :

Définition du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement de la tour de refroidissement :

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \left\{Q^{gnr}_{cef(2;enr)}(h)\right\} = \left\{Q_{cef(2;enr)}\right\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) = Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_fr}(h) = Q_{fou} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) = \tau_{charge} \end{cases} \quad (1028)$$

Note : l'ensemble des autres données de description du fonctionnement ne concernent pas la tour de refroidissement et sont maintenues nulles tout le long de la simulation.

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de chauffage)

$Q_{rep\_fr}(h) = Q_{rest}$

8.15.3.7.2 Composant générateur de froid autre

La première étape est le calcul de la température de fonctionnement (aval) du générateur de refroidissement sur boucle d'eau. A défaut d'informations sur le type et le dimensionnement de la boucle d'eau, on l'estime sur la base de la température de boucle d'eau au jour considéré, en considérant qu'elle obéit à une loi de proportionnalité par rapport la charge du générateur (la référence étant P_{ngen}).

Dans ce cas, dans la source amont, on a : id_{tour} = 0 : Autre, et le générateur de froid pris en compte est le générateur de froid dont $id_{type} \neq 507$.

$$\boldsymbol{\theta_{aval\_froidBE}(h)} = \boldsymbol{MIN}\left[\boldsymbol{\theta_{min\_fr\_BE}}; \boldsymbol{\theta_{be}(j)} + \frac{\boldsymbol{Q_{sys\_BE\_fr}(h)} + \boldsymbol{Q_{rep\_fr}(h-1)}}{\boldsymbol{P_{ngen}}} \times \left(\boldsymbol{\theta_{min\_fr\_BE}} - \boldsymbol{\theta_{be}(j)}\right)\right] \quad (1029)$$

L'algorithme d'appel de ce générateur est le suivant :

$$\boldsymbol{id_{fonction}} = \mathbf{2} \quad (1030)$$

- ***Hors saison de fonctionnement :*** $\boldsymbol{Aut_{fr}(j)} \neq \mathbf{1}$
  Le générateur est désactivé pour le poste considéré.
- ***En saison de fonctionnement :*** $\boldsymbol{Aut_{fr}(j)} = \mathbf{1}$

Soit le générateur gnr de refroidissement de la boucle d'eau :

Charge du générateur

$\boldsymbol{Q_{req}} = \boldsymbol{Q_{sys\_BE\_fr}(h)} + \boldsymbol{Q_{rep\_fr}(h-1)}$ *(1031)*

$\boldsymbol{Q_{rest}} = \mathbf{0}$

Calcul du ratio de puissance disponible

$\boldsymbol{R_{pui\_dispo}} = \mathbf{1}$

Appel du générateur (les sorties du générateur en question $id_{type} \neq 507$ sont reprises)

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(po;en)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ \phi_{vc} \end{bmatrix}$$

$$= AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta_{aval\_frBE}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : *le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».*

$$\begin{cases} \{Q^{gnr}_{cef(1;enr)}(h)\} += \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) = Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) += R_{pui\_dispo} \cdot \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{rejet}(h) += \phi_{rejet} \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta^{gnr}_{eff\_ch}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de refroidissement)

$$Q_{rep\_fr}(h) = Q_{rest}$$

8.16 C_GEN_Transferts entre locaux par les générateurs DRV ou thermofrigopompes

8.16.1 INTRODUCTION

Certains systèmes de traitement des ambiances permettent des transferts d'énergie entre des locaux dans des situations thermiques différentes. Il peut y avoir transfert d'énergie entre des locaux en demande de froid et d'autres en demande de chaud via le système, ce qui permet de réduire la demande aux générateurs.

On vise ici :

- les systèmes à débit de réfrigérant variable :

Un système de conditionnement d'air DRV utilise une unité intérieure (évaporateur en refroidissement, condenseur en chauffage) pour chaque local. Ces unités sont directement alimentées par le fluide frigorigène. Les unités intérieures sont raccordées au groupe extérieur par une conduite frigorifique principale composée de deux ou trois tubes.

Le chauffage de certaines zones et le refroidissement d'autres peuvent être réalisés à l'aide de ce système.

Ces systèmes sont traités comme une génération air / air complétée par la détermination des transferts possibles entre locaux.

- les thermofrigopompes :

La thermofrigopompe est constituée d'un groupe frigorifique eau / eau. L'installation comprend également les réseaux de distribution, le circuit de captage et les pompes.

Ce système est traité comme une machine eau / eau complétée par la détermination de la récupération.

8.16.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 110 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul des transferts.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Pour le calcul de rejet	Q_{cons}	Energie consommé par un générateur hors auxiliaires, après appel en refroidissement.	Wh
	Q_{fou}	Energie fournie par le générateur après appel en refroidissement (variable local)	Wh
Pour le bilan du transfertentre locaux	$Q_{fou\_fr}^{gnr}(h)$	Energie fournie pour le poste refroidissement par le générateur *gnr* par poste au pas de temps h.	Wh
	Q_{req}	Demande en énergie pour un générateur, avant appel en chauffage.	Wh

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
R_{et}^{gnr} *(conventionnel)*	Rendement de récupération du rejet en chaud des générateurs de type thermofrigopompes ou DRV.	Ent.	0	1	0.6

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Variables locales	$id_{fonction}$	Indicateur d'usage d'un générateur. *1 : Chauffage* *2 : Refroidissement* *3 : ECS*	Ent
	R_{pui_dispo}	Ratio de puissance disponible pour le générateur.	Réel
	$\{Q_{cef(poste;en)}\}$	Matrice (3;6) de sortie d'un générateur permettant la concaténation de la matrice des consommations.	Wh
	Q_{cons}	Energie consommé par un générateur hors auxiliaires propres.	Wh
	Q_{fou}	Energie fournie par le générateur.	Wh
	$W_{aux,pro}$	Consommations électrique des auxiliaires propres à un générateur.	Wh
	τ_{charge}	Taux de charge d'un générateur vers l'ambiance.	Réel

Φ_{rejet}	Rejet d'un générateur thermodynamique (valeur positive en refroidissement).	Wh
Φ_{vc}	Pertes thermiques d'un générateur vers l'ambiance.	Wh
Q_{req} (ou Q_{req_ch} et Q_{req_ecs})	Demande en énergie pour un générateur.	Wh
Q_{rest} (ou Q_{rest_ch} et Q_{rest_ecs})	Demande(s) en énergie non-assurée(s) par un générateur.	Wh
Q_{prelec}	Energie électrique produite par un générateur.	Wh

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{rejet\_expCH}^{gnr}(h)$	Rejet en chaud du générateur *gnr* DRV ou thermofrigopompe exploitable en chauffage.	W
$Q_{cons}^{gnr}(h)$	Energie consommée hors auxiliaires du générateur *gnr*.	Wh
$W_{aux}^{gnr}(h)$	Consommation électrique globale des auxiliaires du générateur *gnr*.	Wh
$Q_{prelec}^{gnr}(h)$	Energie électrique produite pas le générateur *gnr* au pas de temps h.	Wh
$Q_{fou\_ch}^{gnr}(h)$	Energie fournie en chauffage par le générateur *gnr* par poste au pas de temps h.	Wh
$\eta_{eff\_ch}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en chauffage.	Réel
$\Phi_{rejet}^{gnr}(h)$	Rejet du générateur thermodynamique au pas de temps h (valeur positive en refroidissement).	Wh
$W_{aux,pro}^{gnr}(h)$	Consommations électrique des auxiliaires propres au générateur *gnr*.	Wh
$\tau_{charge}^{gnr}(h)$	Taux de charge du générateur *gnr*.	Réel
$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques du générateur *gnr* vers l'ambiance.	Wh

Tableau 110 : Nomenclature du modèle

8.16.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les générateurs à DRV et les thermofrigopompes sont des générateurs thermodynamiques réversibles (idfougen = 4 : chauffage et refroidissement).

La modélisation est fondée sur une première évaluation de l'état du générateur en refroidissement, puis une prise en compte du chauffage sur la base du rejet énergétique :

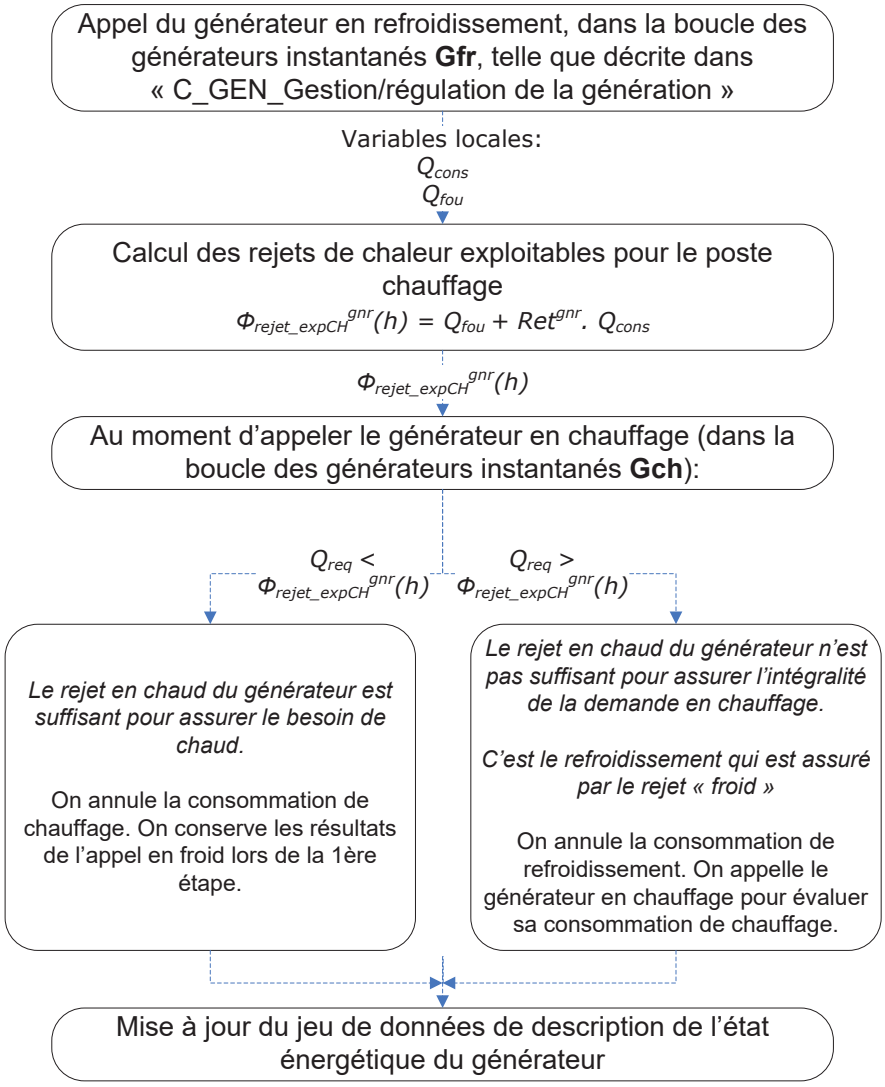


Figure 106: Description du processus de calcul horaire des transferts d'énergie par les générateurs DRV et thermofrigopompes

8.16.3.1 *Calcul de rejet de chaleur exploitable en chauffage*

Le rejet de chaleur est calculé sur la base d'un rendement de récupération conventionnel, une fois les performances du générateurs évaluées en refroidissement :

$$\phi_{rejet\_\exp CH}^{gnr}(h) = Q_{fou} + \mathrm{Re}\,t^{gnr}.Q_{cons} \qquad (1032)$$

8.16.3.2 *Modification de la boucle d'appel en chauffage pour la réalisation du bilan d'échange des générateurs DRV ou thermofrigopompes*

L'algorithme suivant remplace l'algorithme générique d'appel d'un élément de l'ensemble des générateurs de chauffage de la génération (voir « C_GEN_Gestion/régulation de la génération »).

BOUCLE EN COURS : générateur $gnr \in G_{ch}$ *tel que gnr est de type DRV ou thermofrigopompes* (1033)

…

Définition du Q_{req} *selon le mode de gestion de la génération* voir « C_GEN_Gestion/régulation de la génération »).

Si $Q_{req} > \phi^{gnr}_{rejet\_\exp CH}(h)$ ou ($Q_{req} = 0$ et $\phi^{gnr}_{rejet\_\exp CH}(h) = 0$), alors, *(le rejet en chaud du générateur n'est pas suffisant pour assurer l'intégralité de la demande en chauffage. C'est donc le refroidissement qui est assuré par le rejet froid).*

Remise à zéro des sorties horaires du générateur pour effacer le comportement précédemment calculé en froid :

$$\begin{cases} \left\{Q^{gnr}_{cef\,(2;enr)}(h)\right\} = \{0\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) = 0 \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) = 0 \\ \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{rejet}(h) = 0 \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) = 0 \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) = 0 \\ W^{gnr}_{aux}(h) = 0 \end{cases}$$

Note : l'énergie fournie en froid $Q^{gnr}_{fou\_fr}(h)$ est maintenue à sa valeur, car elle est fournie par le rejet froid du générateur.

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui\_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$i_{fonction} = 1$$

$$\begin{bmatrix} \left\{Q_{cef\,(1;enr)}\right\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{ch\,\arg e} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}$$

Report de puissance (n'est utilisé qu'en mode de gestion en cascade)

$$Q_{req} = Q_{rest}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :
Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche

$$\begin{cases} \left\{Q^{gnr}_{cef\,(1;enr)}(h)\right\} += \left\{Q_{cef\,(1;enr)}\right\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) = Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) += R_{pui\_dispo}.\tau_{ch\,\arg e} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta^{gnr}_{eff\_ch}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Calcul du rejet corrigé par l'énergie dispensée en froid :

$$\phi^{gnr}_{rejet}(h) = \phi_{rejet} - Q^{gnr}_{fou\_fr}(h)$$

Sinon, *(le rejet en chaud du générateur est suffisant pour assurer le besoin de chaud :* $Q_{req} \le \phi^{gnr}_{rejet\_\exp CH}(h)$*).*

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) = Q_{req} \\ Q_{req} = 0 \\ Q_{rest} = 0 \end{cases}$$

Calcul du rejet corrigé par l'énergie dispensée en chaud :

$$\phi^{gnr}_{rejet}(h) += -Q^{gnr}_{fou\_ch}(h)$$

SUITE DE LA BOUCLE sur G_{ch}

8.17 C_GEN_Gestion/régulation de la génération

8.17.1 INTRODUCTION

On appelle génération l'ensemble de générateurs fournissant conjointement de l'énergie pour un ou plusieurs usages.

La gestion/régulation de la génération réalise à chaque pas de temps la répartition de la demande en énergie sur les différents générateurs associés.

La demande en énergie peut provenir :

- Des émetteurs des différents groupes, au travers des réseaux de distribution ;
- Des CTA (préchauffage, pré-refroidissement, humidification, antigel), au travers des réseaux de distribution ;
- Des émetteurs d'ECS, au travers des réseaux de distribution ;
- D'une boucle d'eau (la modélisation des générateurs thermodynamiques de cette dernière est à part).

Un générateur peut avoir les fonctions suivantes :

- Chauffage seul ;
- Refroidissement seul ;
- Production d'ECS seule ;
- Chauffage et ECS ;
- Chauffage et refroidissement en alternance.

Les performances du ou des générateurs sont définies à l'échelle des fiches composant générateur. Les ballons de stockage et leurs équipements associés (base et appoint) sont également vus comme des générateurs du point de vue de la gestion/régulation.

Trois modes de régulation globale de la génération sont considérés – valables aussi bien pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS. À ces derniers, il faut ajouter la modélisation de la régulation locale des ballons de stockage, qui est décrite au niveau des assemblages associés.

Les modes de régulation sont les suivants :

1. Sans priorité

Pour chaque usage, les générateurs sont utilisés simultanément, pour des durées équivalentes. La demande en énergie est repartie entre les différents générateurs au prorata de leur puissance nominale.

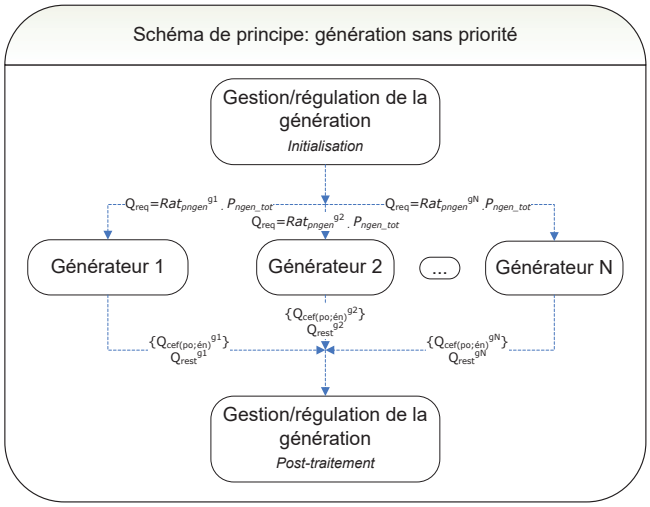


Figure 107 : Génération sans priorité

2. En cascade

Un ordre de priorité des générateurs est défini en fonction de leurs performances. Le générateur prioritaire est sollicité jusqu'à sa puissance maximale ; la puissance restante est attribuée au générateur suivant dans la hiérarchie jusqu'à atteindre sa puissance maximale, et ainsi de suite. L'ordre de priorité est défini au travers des paramètres $id^{gnr}_{priorite\_ch}$, $id^{gnr}_{priorite\_fr}$ et $id^{gnr}_{priorite\_ecs}$.

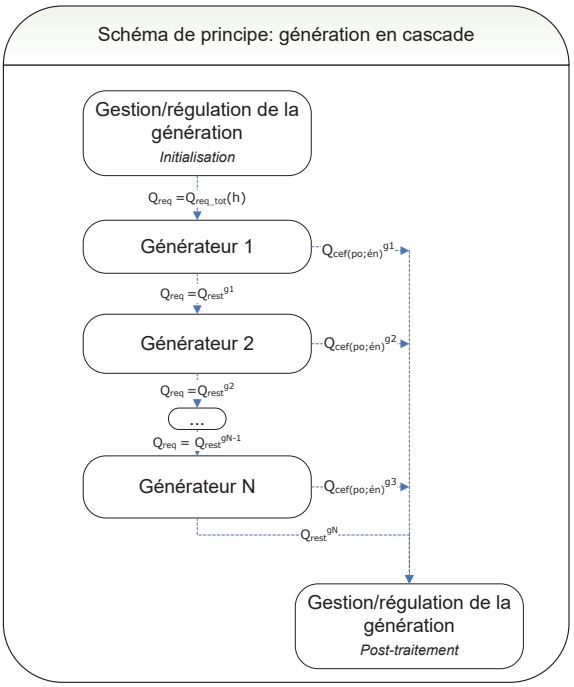


Figure 108 : Génération en cascade

3. En alternance

On sollicite alternativement les différents générateurs (seul ou plusieurs) pour n'utiliser que la

combinaison la mieux dimensionnées par rapport à la charge. La priorisation se fait sur la base des paramètres P_{ngen}^{gnr} de chaque générateur. Dans ce mode, les générateurs sont triés par ordre de puissances nominales décroissantes. Par exemple, sur un ensemble de 3 générateurs (le générateur 1 étant le plus puissant) :

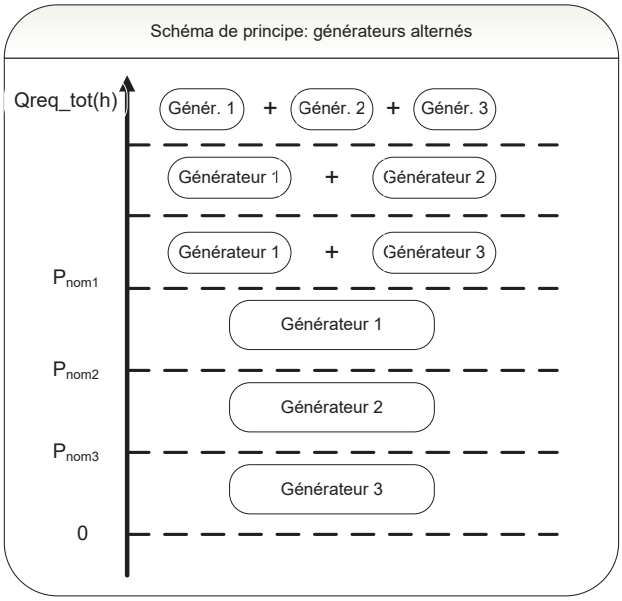


Figure 109 : Génération en alternance

Note : pour simplifier l'écriture, dans tout le reste de la fiche, le symbole « $Y \mathrel{+}= X$ » est à comprendre par « le terme de droite X est ajouté au terme de gauche Y ».

8.17.2 NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calculs de gestion/régulation de la génération.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation. Par distribution intergroupe, on entend distributions intergroupes reliées à des distributions des groupes et distribution intergroupes de CTA.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}\ (h)$	Température de l'air extérieur au pas de temps h	°C
E. tamp.	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon	Réel
Réseaux intergroupes CH/FR et ECS	$\theta^{dp}_{max\_ch}(h)$ ou $\theta^{dCTA}_{max\_ch}(h)$	Température maximale de la distribution intergroupe en chauffage	°C
	$\theta^{dp}_{max\_fr}(h)$ ou $\theta^{dCTA}_{max\_fr}(h)$	Température minimale de la distribution intergroupe en refroidissement	°C
	$Rat^{dp,gr}_{bes\_ch}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe relié à un réseau primaire sur la somme de tous les besoins de chauffage du réseau primaire	Réel
	$Rat^{dp,gr}_{bes\_fr}(h)$	Ratio des besoins de refroidissement d'un groupe relié à un réseau primaire sur la somme de tous les besoins de refroidissement du réseau primaire	Réel
	$Rat^{dp-e,gr}_{bes\_ecs}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à un réseau primaire sur la somme de tous les besoins d'ECS du réseau primaire	Réel
	$Q^{dp}_{sys\_ch}(h)$ ou $Q^{dCTA}_{sys\_ch}(h)$	Besoins horaires en chauffage augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes de chauffage	Wh
	$Q^{dp}_{sys\_fr}(h)$ ou $Q^{dCTA}_{sys\_fr}(h)$	Besoins horaires en refroidissement augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes	Wh
	$Q^{dp-e}_{sys\_ecs}(h)$	Besoins horaires en ECS augmentés des pertes totales de distribution pour les différents réseaux intergroupes d'ECS	Wh
	$W^{dp-e}_{rechauff-e}(h)$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
	$\theta^{dp}_{moy}(h)$ ou $\theta^{dCTA}_{moy}(h)$	Températures moyennes des différents réseaux de chauffage et de refroidissement	°C
	$\theta^{dp}_{i,aval,eq}(h)$	Température équivalente d'air vue par la distribution intergroupes	°C
	$\theta^{dp-e}_{moy}(h)$	Températures moyennes des différents réseaux intergroupes d'ECS	°C
	$Id^{dp-e}_{encl}(j)$	Indicateur qui précise si le jour j est inclus dans la période de fonctionnement du réseau intergroupe	Bool
	$A^{dp}_{dess\_ch}$ ou $A^{dCTA}_{dess\_ech}$	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en chauffage	m²
	$A^{dp}_{dess\_fr}$ ou $A^{dCTA}_{dess\_fr}$	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en refroidissement	m²
	$A^{dp-e}_{dess\_ecs}$	Surface totale desservie par la distribution intergroupe, en ECS	m²

Dét. des saisons syst.	$Aut_{ch}^{gen}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en chauffage	Bool.
	$Aut_{fr}^{gen}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en refroidissement	Bool.
	$id_{relance}^{dp}$ ou $id_{relance}^{dCTA}$	Indicateurs de période de relance pour les différents réseaux intergroupes de chaud et de froid	Bool.
Report d'énergie	$Q_{rep\_ch}^{gen,gr}(h-1)$	Demande en énergie totale de chauffage de la génération reportée au pas de temps h	Wh
	$Q_{rep\_fr}^{gen,gr}(h-1)$	Demande en énergie totale de refroidissement de la génération reportée au pas de temps h	Wh
	$Q_{rep\_ecs}^{gen,gr}(h-1)$	Demande en énergie totale d'ECS de la génération reportée au pas de temps h (dans le cas d'un générateur instantané)	Wh

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Distribution intergroupe	$id_{fonction}^{dp}$	Fonction du réseau de distribution intergroupe connecté à la génération : - *1 : Chauffage ;* - *2 : Refroidissement ;* - *3 : ECS*	Entier	1	3	
	id_{type}^{dp}	Type de réseau de distribution intergroupe : - 0 : réseau de distribution fictif ; - 1 : réseau de distribution hydraulique	Entier	0	1	
Générateurs	id_{type}^{gnr}	Type du générateur	Entier	1	1 000	
	$id_{fluide-aval}^{gnr}$	Type de fluide aval du générateur : - *1 : Eau ;* - *2 : Air ;* - *3 : Autre fluide*	Entier	1	3	
	id_{fougen}^{gnr}	Fonction du générateur gnr compris dans la génération : - *1 : Chauffage ;* - *2 : Refroidissement ;* - *3 : ECS ;* - *4 : Chauffage et ECS ;* - *5 : Chauffage et refroidissement*	Entier	1	5	
	$id_{hivernal}^{gnr}$	Type de générateur gnr *si sa fonction est seulement l'ECS* : - *1 : Hivernal/Estivale (toute l'année) ;* - *2 : Hivernal ;* - *3 : Estival*	Entier	1	3	
	$id_{priorite\_ch}^{gnr}$	Indice de priorité en chauffage du générateur gnr	Entier	1	+∞	
	$id_{priorite\_fr}^{gnr}$	Indice de priorité en refroidissement du générateur gnr	Entier	1	+∞	
	$id_{priorite\_ecs}^{gnr}$	Indice de priorité en ECS du générateur gnr	Entier	1	+∞	
	$P_{ngen\_ch}^{gnr}$	Puissance fournie nominale du générateur en chauffage et ECS	W	1	+∞	

Génération	$P_{ngen\_fr}^{gnr}$	Puissance fournie nominale du générateur en refroidissement	W	1	+∞	
	θ_{min}^{gnr}	Température minimale de fonctionnement du générateur gnr	°C	0	100	
	θ_{max}^{gnr}	Température maximale de fonctionnement du générateur gnr	°C	0	100	
	$id_{type\_priorite}^{gen}$	Priorité de fonctionnement des générateurs pour la génération : - *1 : Sans priorité ;* - *2 : Générateurs en cascade ;* - *3 : Générateurs en alternance*	Entier	1	3	
	$N_{basculement\_init}^{gen}$	Mode de gestion alterné : nombre d'heure de non-utilisation provoquant la coupure d'un générateur	Entier	0	+∞	20
	$id_{raccord\_gnr}^{gen}$	Type de raccordement des générateurs entre eux, pour un mode de gestion avec priorité : - *0 : Permanent ;* - *1 : Avec isolement*	Entier	0	1	
Fonctionnement en chauffage	$id_{gestion\_ch}^{gen}$	Type de gestion de la température de génération gen en chauffage : - *1 : fonctionnement à température moyenne constante ;* - *2 : fonctionnement à la température moyenne des réseaux de distribution*	Entier	1	2	
	$\theta_{wm\_ch}^{gen}$	Température de fonctionnement de la génération gen pour un fonctionnement à température constante	°C	0	100	
Fonctionnement en refroidissement	$id_{gestion\_fr}^{gen}$	Type de gestion de la température de génération gen en refroidissement : - *1 : fonctionnement à température moyenne constante ;* - *2 : fonctionnement à la température moyenne des réseaux de distribution*	Entier	1	2	
	$\theta_{wm\_fr}^{gen}$	Température de fonctionnement de la génération gen pour un fonctionnement à température constante	°C	0	100	
ECS	$\theta_{wm\_ecs}^{gen}$	Température de fonctionnement de la génération gen en ECS (conventionnel)	°C	0	100	

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	A^{gr}	Surface totale du groupe gr desservi par la génération	m²	0	+∞	
	id_{pos}^{gen}	Position de la génération : - 1 : En volume chauffé ; - 0 : Hors volume chauffé	Entier	0	1	
	Rat_{dim}^{gnr}	Nombre de générateurs identiques pour la génération	Réel	1	+∞	
	θ_{boucle_min}	Température minimale annuelle de l'eau dans la boucle	°C	-∞	+∞	
	θ_{boucle_max}	Température maximale annuelle de l'eau dans la boucle	°C	-∞	+∞	

Sorties

	Nom	Description	Unité
Calculs générations	$Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage du groupe gr sur l'ensemble des besoins de chauffage transmis à la génération.	Réel

	$Rat_{bes\_fr}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins de refroidissement du groupe gr sur l'ensemble des besoins de refroidissement transmis à la génération.	Réel
	$Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS du groupe gr sur l'ensemble des besoins d'ECS transmis à la génération.	Réel
	$Q_{cef(po;en)}^{gnr}(h)$	Matrice des consommations horaires en énergie finale du générateur gnr.	Wh
	$Q_{cef(po;en)}^{gnr}(h)$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
	$Q_{cons}^{gnr}(h)$	Energie consommée hors auxiliaires du générateur gnr	Wh
	$W_{aux}^{gnr}(h)$	Consommation électrique globale des auxiliaires du générateur gnr	Wh
	$Q_{prelec}^{gnr}(h)$	Energie électrique produite pas le générateur gnr au pas de temps h	Wh
	$Q_{fou\_ch}^{gnr}$, $Q_{fou\_fr}^{gnr}$, $Q_{fou\_ecs}^{gnr}$	Energies fournies par le générateur gnr par poste au pas de temps h	Wh
	$Q_{prelec\_tot}^{gen,gr}(h)$	Total des productions électriques de l'ensemble des générateurs de la génération	Wh
Calculs groupe et transferts BE	$Q_{req\_ch}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de chauffage au niveau de la génération gen pour le groupe gr	Wh
	$Q_{req\_fr}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de refroidissement au niveau de la génération gen pour le groupe gr	Wh
	$Q_{req\_ecs}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie d'ECS au niveau de la génération gen pour le groupe gr	Wh
Sorties horaires	$\eta_{eff\_ch}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en chauffage	Réel
	$\eta_{eff\_fr}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en refroidissement	Réel
	$\eta_{eff\_ecs}^{gnr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en ECS	Réel
P. et c. aux. récup.	$\phi_{vc\_tot}^{gen,gr}$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération	Wh
	$Rat_{surf}^{gen,gr}$	Ratio de la surface du groupe gr sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes	Réel
Indicateurs de sous-dimensionnement	$id_{sousdim\_court\_ch}^{gnr}$	Alerte de sous-dimensionnement du générateur sur le court terme (une valeur par simulation, nul initialement) en chauffage et ECS	Bool.
	$id_{sousdim\_long\_ch}^{gnr}$	Alerte de sous-dimensionnement du générateur sur le long terme (une valeur par simulation, nul initialement) en chauffage et ECS	Bool.
	$id_{sousdim\_court\_fr}^{gnr}$	Alerte de sous-dimensionnement du générateur sur le court terme (une valeur par simulation, nul initialement) en refroidissement	Bool.
	$id_{sousdim\_long\_fr}^{gnr}$	Alerte de sous-dimensionnement du générateur sur le long terme (une valeur par simulation, nul initialement) en refroidissement	Bool.
Energie reportée	$Q_{rep\_ch}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie totale de chauffage de la génération reportée au pas de temps $h+1$	Wh
	$Q_{rep\_fr}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie totale de refroidissement de la génération reportée au pas de temps $h+1$	Wh

	$Q_{rep\_ecs}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie totale d'ECS de la génération reportée au pas de temps $h+1$ (dans le cas d'un générateur instantané)	Wh

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Surfaces desservies	$Rat_{surf\_dess\_ch}^{dp}$	Ratio de la surface desservie par la distribution intergroupe dp sur la surface totale desservie par la génération, en chauffage	Réel
	$Rat_{surf\_dess\_fr}^{dp}$	Ratio de la surface desservie par la distribution intergroupe dp sur la surface totale desservie par la génération, en refroidissement	Réel
	$Rat_{surf\_dess\_ecs}^{dp-e}$	Ratio de la surface desservie par la distribution intergroupe dp sur la surface totale desservie par la génération, en ECS	Réel
Répartition des besoins	$Rat_{bes\_ch}^{gen,dp}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins de chauffage de cette génération	Réel
	$Rat_{bes\_fr}^{gen,dp}(h)$	Ratio des besoins de refroidissement d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins de refroidissement de cette génération	Réel
	$Rat_{bes\_ecs}^{gen,dp-e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	Réel
Demandes en énergie	$Q_{req\_tot\_ar\_ch}^{gen}(h)$	Demande totale en chauffage au niveau de la génération (avec report)	Wh
	$Q_{req\_tot\_ar\_fr}^{gen}(h)$	Demande totale en refroidissement au niveau de la génération (avec report)	Wh
	$Q_{req\_tot\_ar\_ecs}^{gen}(h)$	Demande totale en ECS au niveau de la génération (avec report)	Wh
	$Q_{req\_tot\_sr\_ch}^{gen}(h)$	Demande totale en chauffage au niveau de la génération (sans report)	Wh
	$Q_{req\_tot\_sr\_fr}^{gen}(h)$	Demande totale en refroidissement au niveau de la génération (sans report)	Wh
	$Q_{req\_tot\_sr\_ecs}^{gen}(h)$	Demande totale en ECS au niveau de la génération (sans report)	Wh
Température fonctionnement	$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage	°C
	$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h-1)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage, au pas de temps précédent	°C
	$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en refroidissement	°C
	$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h-1)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en refroidissement, au pas de temps précédent	°C
	$\theta_{aval\_ecs}^{gen}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en ECS	°C
	$\theta_{amb}^{gen}(h)$	Température d'ambiance de la génération	°C
on sans priori	$P_{ngen\_tot\_ch}^{gnr}$	Puissance nominale totale en chauffage	Réel

	$P_{ngen\_tot\_fr}^{gnr}$	Puissance nominale totale en refroidissement	Réel
	$P_{ngen\_tot\_ecs}^{gnr}$	Puissance nominale totale en ECS	Réel
	$Rat_{pngen\_ch}^{gnr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs de la génération, au prorata de leurs puissances nominales en chauffage	Réel
	$Rat_{pngen\_fr}^{gnr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs de la génération, au prorata de leurs puissances nominales en refroidissement	Réel
	$Rat_{pngen\_ecs}^{gnr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs de la génération, au prorata de leurs puissances nominales en ECS	Réel
Alternés	$N_{basculement}^{gnr}(h)$	Compteur d'heures de basculement du générateur gnr	h
Sources amonts	$\theta_{amont}^{SA}(h)$	Température amont calculée au niveau d'une source amont SA donnée	°C
	$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont du générateur gnr, dans le cas des générateurs thermodynamiques (sans objet sinon).	°C
ECS	$id_{encl}^{gen}(j)$	Indicateur qui précise si le jour j est inclus dans la période de fonctionnement de la génération en ECS	Bool.
	i_{ecs_seule}	Indicateur de production ECS seule	Bool.
	$\theta_{dist\_ch\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution intergroupes de chauffage	°C
	$\theta_{dist\_fr\_min}^{gen}$	Température minimale des réseaux de distribution en froid	°C
	$\theta_{dist\_ecs\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution intergroupes d'ECS connectés à la génération gen	°C
	$id_{fonction}^{gnr}$	Indicateur d'usage d'un générateur : - *1 : Chauffage ;* - *2 : Refroidissement ;* - *3 : ECS*	Entier
	R_{pui_dispo}	Ratio de puissance disponible pour le générateur.	Réel
Variables locales	$Q_{cef(poste,en)}$	Matrice 3×6 de sortie d'un générateur permettant la concaténation de la matrice des consommations.	Wh
	Q_{cons}	Energie consommé par un générateur hors auxiliaires propres	Wh
	Q_{fou}	Energie fournie par le générateur	Wh
	Q_{rest}	Energie restant à fournir après utilisation d'un générateur	Wh
	$W_{aux,pro}$	Consommations électriques des auxiliaires propres à un générateur	Wh
	T_{charge}	Taux de charge d'un générateur vers l'ambiance	Réel

Variables par générateur	ϕ_{rejet}	Rejet d'un générateur thermodynamique (valeur positive en refroidissement)	Wh
	ϕ_{vc}	Pertes thermiques d'un générateur vers l'ambiance	Wh
	Q_{req} ou (Q_{req_ch} et Q_{req_ecs})	Demande en énergie pour un générateur	Wh
	Q_{rest} ou (Q_{rest_ch} et Q_{rest_ecs})	Demande(s) en énergie non-assurée(s) par un générateur	Wh
	Q_{prelec}	Energie électrique produite par un générateur	Wh
	$R^{gnr}_{font\_ecs}(h)$	Temps de fonctionnement à charge maximale utilisé pour l'ECS du générateur gnr	Réel
	$\phi^{gnr}_{rejet\_expCH}(h)$	Rejet en chaud du générateur gnr DRV ou thermo-frigo-pompe exploitable en chauffage	W
	$\phi^{gnr}_{rejet}(h)$	Rejet du générateur thermodynamique au pas de temps h (valeur positive en refroidissement)	Wh
	$\phi^{gnr}_{rejet}(h-1)$	Rejet du générateur thermodynamique au pas de temps $h-1$	Wh
	$id^{gnr}_{a\_refroidi}(h)$	Indicateur précisant si le générateur gnr a été appelé en refroidissement au pas de temps h	Bool.
	$W^{gnr}_{aux,pro}(h)$	Consommations électriques des auxiliaires propres au générateur gnr	Wh
	$W^{gnr}_{aux,am}(h)$	Consommations électriques des auxiliaires amonts du générateur gnr	Wh
	$T^{gnr}_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur gnr	Réel
	$\phi^{gnr}_{vc}(h)$	Pertes thermiques du générateur gnr vers l'ambiance	Wh
	$\theta^{gnr}_{amb}(h)$	Température d'ambiance d'un générateur	°C
Sto.	$\phi^{sto}_{vc}(h)$	Pertes thermiques d'un ballon de stockage vers l'ambiance	Wh
Progra.	$id^{gen}_{relance\_ch}(h)$	Indicateurs de période de relance en chauffage	-
	$id^{gen}_{relance\_fr}(h)$	Indicateurs de période de relance en refroidissement	-
Sous-dimensionnement	$Nb_{sousdim\_ch}(h)$	Nombres de pas de temps de sous-dimensionnement successif en chauffage et/ou ECS	h
	$Nb_{sousdim\_ch}(h-1)$	Nombres de pas de temps de sous-dimensionnement successif au pas de temps précédent en chauffage et/ou ECS	h
	$Nb_{sousdim\_fr}(h)$	Nombres de pas de temps de sous-dimensionnement successif en refroidissement	h
	$Nb_{sousdim\_fr}(h-1)$	Nombres de pas de temps de sous-dimensionnement successif au pas de temps précédent en refroidissement	h

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
θ_{amb_ch}	Température d'ambiance intérieure conventionnelle lorsqu'un générateur est sollicité en chauffage	°C	20
θ_{amb_fr}	Température d'ambiance intérieure conventionnelle lorsqu'un générateur est sollicité en refroidissement	°C	26

Tableau 111 : Nomenclature du modèle

8.17.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.17.3.1 ***Cohérence du montage***

Le montage n'est jugé cohérent que dans les conditions suivantes :

- Possibilité d'assurer la demande : au moins un des générateurs de la génération est à même de fournir chacun des usages de l'ensemble des distributions intergroupes connectées (chauffage, refroidissement et/ou ECS) ;

- Cohérence dans le type de fluide aval par poste : l'ensemble des réseaux de distribution intergroupe de chauffage sont de même type (fictif ou hydraulique, caractérisé par la valeur de id_{type}^{dp}). L'ensemble des réseaux de distribution intergroupe de refroidissement sont de même type (fictif ou hydraulique, caractérisé par la valeur de id_{type}^{dp}) ;

- Cohérence entre distributions et générateurs associés : il y a cohérence de type entre les distributions intergroupes (fictives ou hydrauliques) et les générateurs (sur fluide aval air ou eau) pour un poste donné. Ainsi :

    - Dans le cas de réseaux fictifs de chauffage, l'ensemble des générateurs de chauffage ($id_{fougen}^{gnr} = 1, 4$ *ou* 5) de la génération sont sur fluide aval air ($id_{fluide-aval}^{gnr} = 2$*)*. Dans le cas de réseaux hydrauliques de chauffage, les générateurs de chauffage sont des générateurs sur fluide aval eau ($id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$*), à l'exception d'éventuels appoints électrique direct* ($id_{type}^{gnr} = 500$*) ;*

    - Dans le cas de réseaux fictifs de refroidissement, l'ensemble des générateurs de refroidissement ($id_{fougen}^{gnr} = 2$ *ou* 5) de la génération sont sur fluide aval air ($id_{fluide-aval}^{gnr} = 2$*)*. Dans le cas de réseaux hydrauliques, les générateurs de refroidissement sont des générateurs sur fluide aval eau ($id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$*) ;*

    - <u>Cas particulier des boucles d'eau</u> : si la génération inclue une boucle d'eau, les réseaux intergroupes sont de type fictif ; les PAC sur boucle d'eau sont sur fluide aval air ($id_{fluide-aval}^{gnr} = 2$) ; les équipements qui desservent la boucle d'eau (chaudière, tour de refroidissement) sont sur fluide aval eau ($id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$*) ;*

    - L'ensemble des générateurs d'ECS ($id_{fougen}^{gnr} = 3$ *ou* 4) sont des générateurs sur fluide aval eau ($id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$*).*

- Cohérence sur les températures atteintes par la distribution et les plages de fonctionnement des générateurs : dans le cas de générateurs sur fluide aval eau ($id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$), la plage de fonctionnement en température des générateurs est cohérente avec la plage de fonctionnement de la génération. Cette dernière doit également être cohérente avec les extrêmes de températures décrits dans la régulation des réseaux de distribution.

    - Soit les températures extrêmes rencontrées parmi les distributions intergroupes hydrauliques :

$$\theta_{dist\_ch\_max}^{gen} = \max_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=1 \end{cases}} \left(\theta_{\max\_ch}^{dp}\right) \quad (1034)$$

$$\theta_{dist\_fr\_max}^{gen} = \max_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=2 \end{cases}} \left(\theta_{\max\_fr}^{dp}\right) \quad (1035)$$

$$\theta_{dist\_ecs\_max}^{gen} = \max_{\begin{cases} dp-e \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=3 \end{cases}} \left(\theta_{\max\_ecs}^{dp-e}\right) \quad (1036)$$

Pour chaque générateur de chauffage ($id_{fougen}^{gnr} = 1$, 4 ou 5), on vérifiera que :

Si $id_{gestion\_ch}^{gen} = 1$ et $id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$ (température constante),

$$\begin{cases} \theta_{max}^{gnr} \geq \theta_{wm\_ch}^{gen} \\ \theta_{dist\_ch\_max}^{gen} \leq \theta_{wm\_ch}^{gen} \end{cases} \quad (1037)$$

Si $id_{gestion\_ch}^{gen} = 2$ et $id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$,

$$\theta_{max}^{gnr} \geq \theta_{dist\_ch\_max}^{gen}$$

Pour chaque générateur de refroidissement ($id_{fougen}^{gnr} = 2$ ou 5), on vérifiera que :

Si $id_{gestion\_fr}^{gen} = 1$ et $id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$ (température constante),

$$\begin{cases} \theta_{max}^{gnr} \geq \theta_{wm\_fr}^{gen} \\ \theta_{dist\_fr\_max}^{gen} \leq \theta_{wm\_fr}^{gen} \end{cases} \quad (1038)$$

Si $id_{gestion\_ch}^{gen} = 2$ et $id_{fluide-aval}^{gnr} \neq 2$,

$$\theta_{max}^{gnr} \geq \theta_{dist\_fr\_max}^{gen}$$

Pour chaque générateur d'ECS ($id_{fougen}^{gnr} = 3$ ou 4), on vérifiera que :

$$\begin{cases} \theta_{max}^{gnr} \geq \theta_{wm\_ecs}^{gen} \\ \theta_{dist\_ecs\_max}^{gen} \leq \theta_{wm\_ecs}^{gen} \end{cases} \quad (1039)$$

- Cas particulier des boucles d'eau : si la génération inclue une boucle d'eau, les équipements qui desservent la boucle d'eau ont des plages de fonctionnement cohérentes avec les extrêmes de températures de la boucle.

  Pour chaque générateur de chauffage parmi ces équipement ($id_{fougen}^{gnr} = 1$, 4 ou 5), on vérifiera que :

  $$\theta_{min}^{gnr} \geq \theta_{boucle\_max} \quad (1040)$$

  De même, pour chaque générateur de refroidissement parmi ces équipement ($id_{fougen}^{gnr} = 2$ ou 5), on vérifiera que :

  $$\theta_{min}^{gnr} \leq \theta_{boucle\_min} \quad (1041)$$

8.17.3.2 *Liste des types de générateurs*

La génération peut être composée des types de générateurs suivant :

id_{type}^{gnr}	**Type associé**
100	Chaudière standard au gaz

101	Chaudière basse température au gaz
102	Chaudière à condensation au gaz
103	Radiateurs gaz
104	Chauffe-eau gaz
105	Accumulateur gaz
106	Générateur d'air chaud standard
107	Générateur d'air chaud à condensation
108	Tube radiant gaz
109	Panneau radiant au gaz
200	Chaudière standard au fioul
201	Chaudière à condensation au fioul
400	Chaudière au bois
403	Poêle à bois
404	Insert (bois)
500	Générateur à effet joule direct (convecteurs, radiateurs…)
501	Générateur d'ECS électrique direct
502	Ballon électrique
503	PAC à compression électrique
504	PAC à absorption
507	PAC sur boucle d'eau
508	Thermo-frigo-pompe
509	Générateur DRV
600	Réseau de chaleur
601	Réseau de froid
700	Système de cogénération

Tableau 112 : Types de générateurs

Le type sélectionné influe sur les calculs à mener (par exemple, nécessité de réaliser les calculs de sources amont dans le cas des générateurs thermodynamiques).

8.17.3.3 *Calcul des ratios surfaciques de chacun des groupes desservis*

Un ratio surfacique est calculé afin de répartir de manière conventionnelle les pertes de la génération vers l'ambiance chauffée entre les différents groupes. Le calcul n'a lieu qu'une fois pour la simulation.

Le bâtiment où est localisée la génération (si elle se trouve en volume chauffé) a pour indice bat. Les pertes sont réparties entre les groupes appartenant à ce bâtiment et desservis par la génération, au prorata de leurs surfaces.

Si le groupe d'indice gr appartient au bâtiment d'indice bat :

$$Rat_{surf}^{gen,gr} = \frac{A^{gr}}{\sum_{\substack{gr^* \to gen \\ gr^* \epsilon bat}} A^{gr^*}} \quad (1042)$$

Sinon,

$$Rat_{surf}^{gen,gr} = 0 \quad (1043)$$

On calcule également le ratio de la surface desservie par chaque distribution intergroupe sur la surface totale desservie par la génération :

$$Rat_{surf\_dess\_ch}^{dp} = \frac{A_{dess\_ch}^{dp}}{\sum_{dp \leftarrow gen} A_{dess\_ch}^{dp}} \quad (1044)$$

$$Rat_{surf\_dess\_fr}^{dp} = \frac{A_{dess\_fr}^{dp}}{\sum_{dp \leftarrow gen} A_{dess\_fr}^{dp}} \quad (1045)$$

$$Rat^{dp}_{surf\_dess\_ecs} = \frac{A^{dp}_{dess\_ecs}}{\sum_{dp \leftarrow gen} A^{dp}_{dess\_ecs}} \quad (1046)$$

8.17.3.4 *Déroulement des calculs horaires*

Pour chacun des usages séparément (chauffage, refroidissement, ECS), les générateurs font l'objet d'une définition des priorités. L'ensemble des générateurs instantanés participant au chauffage est noté $\boldsymbol{G_{ch}}$. On définit de même des ensembles pour le refroidissement $\boldsymbol{G_{fr}}$ et la production ECS $\boldsymbol{G_{ecs}}$.

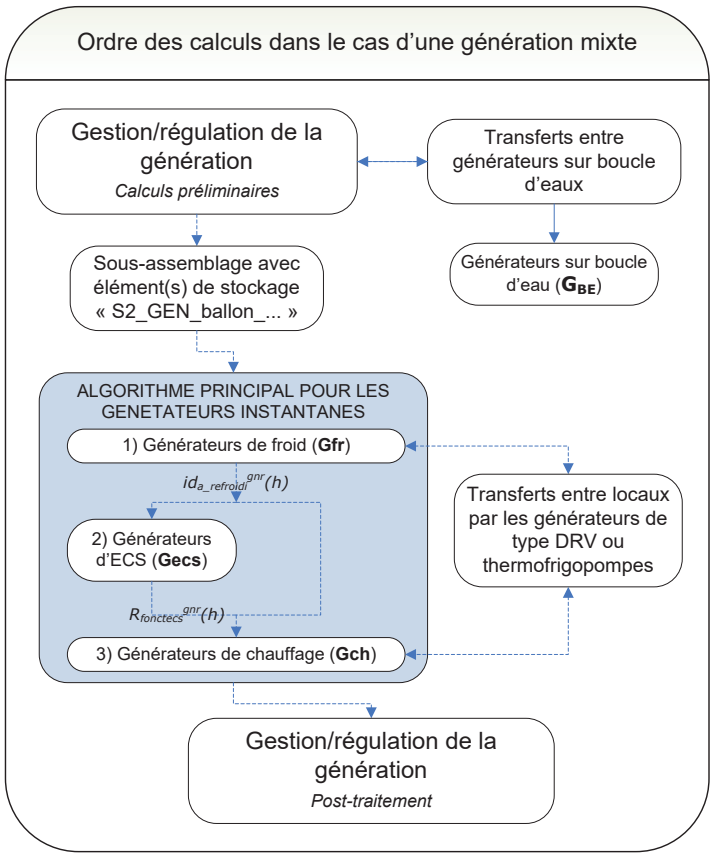


Figure 110 : Ordre des calculs dans la génération

Les hypothèses de calcul adoptées sont les suivantes :

- Les sous-assemblages avec éléments de stockage ne peuvent être inclus que dans une génération en cascade. Les générateurs de base ou d'appoint d'un ballon sont pilotés par l'élément de stockage pour le poste associé. Ils peuvent tout de même participer à la production d'énergie instantanée associée à un autre poste (par exemple : une chaudière associée à un ballon d'ECS peut être employée pour assurer également la demande de chauffage instantanée, si la puissance disponible est suffisante).

- Pour un générateur produisant à la fois l'ECS et le chauffage, la demande en ECS passe avant la demande en chauffage. Le ratio $R^{gnr}_{font\_ecs}$ est égal au temps de fonctionnement à puissance maximale d'un générateur en ECS, et permet de savoir quelle puissance est disponible pour le chauffage ($R^{gnr}_{font\_ch} = 1 - R^{gnr}_{font\_ecs}$). En l'absence de demande (charge nulle), les consommations résiduelles éventuelles sont attribuées au poste de chauffage.

- Pour un générateur mixte de froid et de chaud (chaud signifiant chauffage et/ou ECS), le fonctionnement en froid est prioritaire. Si sur un pas de temps h, des demandes en froid et en chaud sont transmises au générateur, seule la demande en froid sera assurée. L'indicateur

$Id_{a\_refroidi}$ permet d'exclure ou non le comportement en chaud. En l'absence de demande aussi bien en chaud et en froid, les consommations résiduelles éventuelles sont attribuées au poste de chauffage.

- Les générateurs mixtes de type thermo-frigo-pompes et DRV, le calcul du rejet en refroidissement (à partir d'un rendement de récupération conventionnel) permet de déterminer quel fonctionnement le générateur a adopté au cours du pas temps. Le test s'effectue au moment de calculer les consommations de chauffage.

8.17.3.5 *Calculs préliminaires*

8.17.3.5.1 Initialisation du jeu de données par générateur

Le jeu de données décrivant complètement le fonctionnement monoposte ou multipostes d'un générateur à un pas de temps donné, indiqué par les indices gnr, est le suivant :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(1;ener)}(h) \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \\ Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) \\ Q^{gnr}_{fou\_fr}(h) \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \end{cases} \quad \begin{cases} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \\ W^{gnr}_{aux}(h) \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \end{cases} \quad \begin{cases} \eta^{gnr}_{eff\_ch}(h) \\ \eta^{gnr}_{eff\_fr}(h) \\ \eta^{gnr}_{eff\_ecs}(h) \\ id^{gnr}_{a\_refroidi} \\ R^{gnr}_{fonct\_ecs} \end{cases}$$

Figure 111 : Jeu de données de description du fonctionnement d'un générateur

À chaque début de pas de temps, ces variables sont initialisées à 0.

8.17.3.5.2 Calcul des demandes totales horaires en chauffage, refroidissement et ECS

Les demandes totales d'énergie horaires par poste sont utilisées pour la répartition des charges au sein de la génération.

$$Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ch}(h) = \sum_{dp \in gen} Q^{dp}_{sys\_ch}(h) \quad (1047)$$

$$Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_fr}(h) = -\sum_{dp \in gen} Q^{dp}_{sys\_fr}(h) \quad (1048)$$

$$Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ecs}(h) = \sum_{dp \in gen} Q^{dp}_{sys\_ecs}(h) \quad (1049)$$

8.17.3.5.3 Clés de répartition de la demande en énergie par distribution intergroupe

Une génération peut assurer les demandes de plusieurs distributions intergroupes de chaud, de froid ou d'ECS. Pour ces trois postes, le ratio calculé ci-dessous exprime le pourcentage de demande d'énergie d'une distribution intergroupe par rapport à la totalité des demandes d'énergie de ce poste au niveau de la génération.

Si $Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ch}(h) > 0$, alors,

$$Rat^{gen,dp}_{bes\_ch}(h) = \frac{Q^{dp}_{sys\_ch}(h)}{Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ch}(h)} \quad (1050)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_ch}^{gen,dp}(h) = Rat_{surf\_dess\_ch}^{dp}(h)$$

Si $Q_{req\_tot\_sr\_fr}^{gen}(h) > 0$, alors,

$$Rat_{bes\_fr}^{gen,dp}(h) = \frac{-Q_{sys\_fr}^{dp}(h)}{Q_{req\_tot\_sr\_fr}^{gen}(h)} \quad (1051)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_fr}^{gen,dp}(h) = Rat_{surf\_dess\_fr}^{dp}(h)$$

Si $Q_{req\_tot\_sr\_ecs}^{gen}(h) > 0$, alors,

$$Rat_{bes\_ecs}^{gen,dp-e}(h) = \frac{Q_{sys\_ecs}^{dp-e}(h)}{Q_{req\_tot\_sr\_ecs}^{gen}(h)} \quad (1052)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_ecs}^{gen,dp-e}(h) = Rat_{surf\_dess\_ecs}^{dp-e}(h)$$

8.17.3.5.4 Clés de répartition de la demande en énergie par groupe desservi

Ces calculs sont nécessaires à la détermination des saisons de fonctionnement en chauffage et refroidissement :

$$Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h) = \sum_{dp \to gr} Rat_{bes\_ch}^{gen,dp}(h) \times Rat_{bes\_ch}^{dp,gr}(h) \quad (1053)$$

$$Rat_{bes\_fr}^{gen,gr}(h) = \sum_{dp \to gr} Rat_{bes\_fr}^{gen,dp}(h) \times Rat_{bes\_fr}^{dp,gr}(h) \quad (1054)$$

$$Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h) = \sum_{dp-e \to gr} Rat_{bes\_ecs}^{gen,dp-e}(h) \times Rat_{bes\_ecs}^{dp-e,gr}(h) \quad (1055)$$

$$Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) = Q_{req\_tot\_sr\_ch}^{gen}(h) \times Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h) \quad (1056)$$

$$Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) = Q_{req\_tot\_sr\_fr}^{gen}(h) \times Rat_{bes\_fr}^{gen,gr}(h) \quad (1057)$$

$$Q_{req,ecs}^{gen,gr}(h) = Q_{req\_tot\_sr\_ecs}^{gen}(h) \times Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h) \quad (1058)$$

8.17.3.5.5 Indicateur de relance de la génération

La génération fonctionne en mode relance lorsque au moins un des groupes connectés est en période de relance :

$$id_{relance\_ch}^{gen}(h) = \max_{\begin{cases} dp \to gen \\ id_{fonction}^{dp}=1 \end{cases}} \left(id_{relance}^{dp}(h) \right) \quad (1059)$$

$$id_{relance\_fr}^{gen}(h) = \max_{\substack{dp \to gen \\ id_{fonction}^{dp}=2}} \left(id_{relance}^{dp}(h)\right) \quad (1060)$$

8.17.3.5.6 Gestion de la relance pour le chauffage

Identification du générateur avec $id_{relance_ch}^{gen}(h)$le plus élevé pour chaque génération.
Si mode de gestion (idtype_prioritegen =2) cascade et $id_{relance\_ch}^{gen}(h)$=True :
Pour le pas de temps (h), la chaleur fournie (Q_fou) et la consommation (Q_Cef_Ch) du générateur avec id_(priorite_ch)^gnr plus élevé n'est pas pris en compte.

8.17.3.5.7 Période d'activation de la génération en ECS

La production d'ECS de la génération est activée tant qu'au moins un des groupes connectés est en période de fonctionnement ECS :

$$id_{encl}^{gen}(j) = \max_{\substack{dp-e \to gen \\ id_{fonction}^{dp}=3}} \left(id_{encl}^{dp-e}(j)\right) \quad (1061)$$

8.17.3.5.8 Température ambiante de la génération

La température ambiante de la génération influe sur le calcul des pertes pour certains types de générateurs (générateurs à combustion). Elle dépend de l'emplacement de la génération (hors ou en volume chauffé). Conventionnellement, en volume chauffé, on considèrera une température de 20°C en saison de chauffage, 26°C en période de refroidissement, et 23°C en période mixte.
Cas $id_{pos}^{gen} = 1$ (en volume chauffé),

Si $Aut_{ch}^{gen}(j) = 1$ et $Aut_{fr}^{gen}(j) = 0$, alors

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{amb\_ch}$$

Si $Aut_{ch}^{gen}(j) = 0$ et $Aut_{fr}^{gen}(j) = 1$, alors

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{amb\_fr}$$

Sinon

$$\theta_{amb}(h) = \frac{\theta_{amb\_ch} + \theta_{amb\_fr}}{2}$$

Sinon (hors volume chauffé),

Si $Aut_{ch}^{gen}(j) = 1$ et $Aut_{fr}^{gen}(j) = 0$, alors

$$\theta_{amb}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + [1 - b_{therm}(h)] \times \theta_{amb\_ch}$$

Si $Aut_{ch}^{gen}(j) = 0$ et $Aut_{fr}^{gen}(j) = 1$, alors

$$\theta_{amb}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + [1 - b_{therm}(h)] \times \theta_{amb\_fr}$$

Sinon

$$\theta_{amb}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + [1 - b_{therm}(h)] \times \frac{\theta_{amb\_ch} + \theta_{amb\_fr}}{2}$$

8.17.3.5.9 Prise en compte des sources amont des générateurs

Les sources amont ne concernent que les générateurs thermodynamiques ou générateurs matrices dont le comportement dépend d'une température amont (types 503 à 509).
La fiche « C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques » se décompose en deux sous-fonctions. L'une permettant le calcul de la température amont du générateur en fonction des conditions extérieures.
Les températures de sources amont horaires sont calculées une fois pour l'ensemble des générateurs thermodynamiques associés à une même source amont :

$$\theta_{amont}^{SA}(h) = CalculTempAmont\left(\phi_{rejet}^{gnr}(h-1)\right) \quad (1062)$$

Pour tout générateur relié à la source amont : $\theta_{amont}^{gnr}(h) = \theta_{amont}^{SA}(h)$

8.17.3.5.10 Températures de fonctionnement de la génération

La température de fonctionnement est la température moyenne départ/retour aux bornes de la génération.

Pour chaque poste, les températures de fonctionnement sont conventionnellement communes à tous les générateurs d'une génération, à l'exception des générateurs associés à des ballons de stockage.

En production ECS instantanée, la température de fonctionnement est la suivante :

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \theta_{wm\_ch}^{gen} \quad (1063)$$

En chauffage et refroidissement instantanés :

- Pour une génération alimentant des réseaux hydrauliques, cette température de fonctionnement peut être soit constante, soit égale à celle des réseaux à tout pas de temps h ;
- Pour une génération sur l'air ambiant, la température de fonctionnement retenue est la température d'air moyenne de l'ensemble des groupes desservis.

8.17.3.5.10.1 Générations alimentant des réseaux hydrauliques ($\boldsymbol{id_{type}^{dp} = 1}$)

La génération peut :

- Fonctionner à température constante tout au long de la période de chauffage ;
- Adapter sa température de fonctionnement selon le paramétrage défini au niveau des réseaux de distribution de chauffage et de refroidissement. Dans ce deuxième cas, la période de relance se traduit par un fonctionnement à température maximale.

Lors d'un report de demande en énergie non-assurée, on conserve pour le calcul des performances la température au pas de temps précédent.

En chauffage, si les réseaux sont de type hydraulique :

Si $id_{gestion\_ch}^{gen} = 1$, alors,

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \theta_{wm\_ch}^{gen}$$

Sinon,

Si $id_{relance\_ch}^{gen}(h) = 1$ (relance de chauffage), alors, (1064)

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \theta_{dist\_ch\_max}^{gen}$$

Sinon,

Si $Q_{req\_tot\_sr\_ch}^{gen}(h) = 0$ et $Q_{req\_tot\_ar\_ch}^{gen}(h) > 0$, alors,

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \theta_{aval\_ch}^{gen}(h-1)$$

Sinon

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \max_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=1 \end{cases}} \theta_{moy}^{dp}(h)$$

En refroidissement, si les réseaux sont de type hydraulique :

Si $id_{gestion\_fr}^{gen} = 1$, alors,

$$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h) = \theta_{wm\_fr}^{gen}$$

Sinon,

Si $id_{relance\_fr}^{gen}(h) = 1$ (relance de chauffage), alors,

$$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h) = \theta_{dist\_fr\_max}^{gen} \quad (1065)$$

Sinon,

Si $Q_{req\_tot\_sr\_fr}^{gen}(h) = 0$ et $Q_{req\_tot\_ar\_fr}^{gen}(h) > 0$, alors,

$$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h) = \theta_{aval\_fr}^{gen}(h-1)$$

Sinon

$$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h) = \max_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=1 \end{cases}} \theta_{moy}^{dp}(h)$$

8.17.3.5.10.2 Générations sur air (réseaux fictifs : $\boldsymbol{id_{type}^{dp} = 0}$)

La température de fonctionnement est calculée au prorata des températures d'air équivalentes vues par les différentes distributions intergroupes. Il peut s'agir des températures d'air ambiantes ou des températures au niveau des batteries de préchauffage ou prérefroidissement des CTA.

En chauffage, si les réseaux sont de type fictif :

$$\theta_{aval\_ch}^{gen}(h) = \sum_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=1 \end{cases}} Rat_{bes\_ch}^{gen,dp}(h) \times \theta_{i,aval,eq}^{dp}(h) \quad (1066)$$

En refroidissement, si les réseaux sont de type fictif :

$$\theta_{aval\_fr}^{gen}(h) = \sum_{\begin{cases} dp \rightarrow gen \\ id_{fonction}^{dp}=2 \end{cases}} Rat_{bes\_fr}^{gen,dp}(h) \times \theta_{i,aval,eq}^{dp}(h) \quad (1067)$$

8.17.3.5.11 Cas particulier des générations de type boucle d'eau

Les générations de type boucle d'eau sont décrites séparément, dans « C_Gen_Transferts entre générateurs sur boucles d'eau ». Les étapes du calcul préliminaire explicitées dans les chapitres **8.17.3.5.1** à 8.17.3.5.10 sont cependant effectuées comme pour une génération classique.

On applique également l'étape de post-traitement des données telle que décrite dans la partie 8.17.3.9.

8.17.3.5.12 Demandes en énergie par poste en incluant le report de demande

Les demandes totales d'énergie horaires par poste sont utilisées pour la répartition des charges au sein de la génération. De manière générale, elles sont corrigées pour prendre en compte les éventuels reports d'énergie au pas de temps précédent.

$$Q^{gen}_{req\_tot\_ar\_ch}(h) = Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ch}(h) + Q^{gen}_{req\_ch}(h-1) \quad (1068)$$

$$Q^{gen}_{req\_tot\_ar\_fr}(h) = Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_fr}(h) + Q^{gen}_{req\_fr}(h-1) \quad (1069)$$

$$Q^{gen}_{req\_tot\_ar\_ecs}(h) = Q^{gen}_{req\_tot\_sr\_ecs}(h) + Q^{gen}_{req\_ecs}(h-1) \quad (1070)$$

8.17.3.6 *Prise en compte des sous-assemblages avec éléments de stockage*

Une génération peut contenir un sous-assemblage avec ballon(s) de stockage, ayant des fonctions de chauffage, refroidissement ou ECS.

Les systèmes de stockage ne peuvent être inclus que dans une génération régulée en cascade ($id^{gen}_{type\_priorite} = 2$ *: Générateurs en cascade*). Dans tous les cas, le sous-assemblage avec ballon(s) se placent en premier générateur invoqué pour répondre à une demande en énergie (prioritaire).

Les différentes configurations modélisables sont décrites dans les fiches « *S2_GEN_ballon_...* ». Un sous-assemblage peut contenir un à deux générateurs utilisés pour fournir l'énergie au(x) ballon(s) de stockage : on parle de générateur **base** et **appoint**.

Pour chacun de ces deux générateurs, le jeu de données de fonctionnement horaire est mis à jour au sein de ces assemblages.

Note : le jeu de données est à nouveau mis à jour par la suite dans les cas de générateurs multipostes.

Dans le cas d'une génération en volume chauffé, les pertes du ballon de stockage vers l'ambiance, $\phi^{sto}_{vc}(h)$, viennent s'ajouter à celles de la génération.

8.17.3.7 *Algorithme principal pour les générateurs instantanés*

8.17.3.7.1 Généralités

Les trois modes de régulation de la génération sont les suivants (selon valeur de $id^{gnr}_{priorite\_ch}$, $id^{gnr}_{priorite\_fr}$ ou $id^{gnr}_{priorite\_ecs}$).

- 1 : Sans priorité ;
- 2 : Générateurs en cascade ;
- 3 : Générateurs en alternance.

Ces trois modes sont valables aussi bien pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS instantanés (hors ballons de stockage).
On désigne la fonction générique d'appel d'un générateur par $AppelGenerateur$:

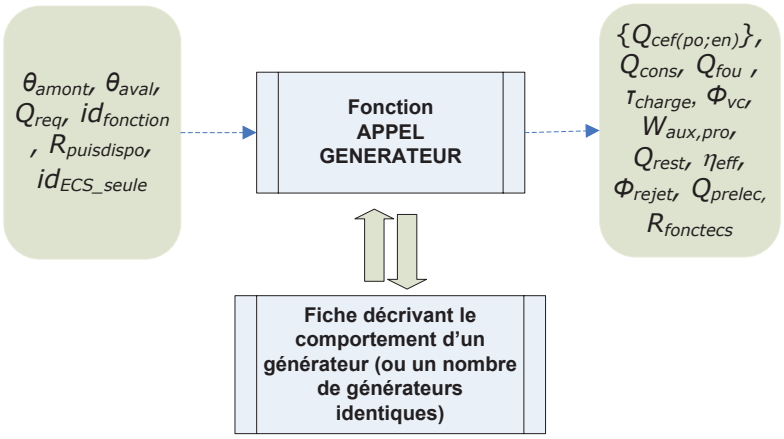


Figure 112 : Description de la fonction d'appel d'un générateur ($AppelGenerateur$)

Chaque générateur est décrit par un processus propre, décrit sous la forme d'une fiche algorithme (voir les différents chapitres associés). Les générateurs peuvent avoir des comportements différents selon la fonction qu'ils ont à assurer : c'est alors $id_{fonction}^{gnr}$ qui pilote le calcul à réaliser.

8.17.3.7.2 Description des algorithmes correspondant aux différents modes de gestion

Les algorithmes seront décrits avec l'indice $[po.]$ *(signifiant poste)*, pouvant représenter les indices ch, fr ou ecs. Les paragraphes spécifiques à l'un ou l'autre des usages sont précisés.
On notera $G_{[po.]}$ l'ensemble des générateurs (ou systèmes de stockage, dans le cadre d'une gestion en cascade) participant à la fourniture du poste $[po.]$.
Note : la puissance nominale d'un générateur en chauffage et/ou ECS est un paramètre commun, étant donné que ces fonctions sont couplées.
Pour les générateurs réversibles (générateurs thermodynamiques), deux puissances nominales différentes sont nécessaires.

8.17.3.7.2.1 Mode de gestion sans priorité ($\boldsymbol{id_{type\_priorite}^{gen} = 1}$)

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : en début de simulation, initialisation des clés de répartition entre générateurs pour chaque poste :

$$P_{ngen\_tot\_[po.]} = \sum_{gnr \in G_{[po.]}} R_{dim}^{gnr} \times P_{ngen\_[po.]}^{gnr} \quad (1071)$$

$$Rat_{pngen\_[po.]}^{gnr}(h) = \frac{R_{dim}^{gnr} \times P_{ngen\_[po.]}^{gnr}}{P_{ngen\_tot\_[po.]}} \quad (1072)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs selon un mode de gestion sans priorité en **ECS** : la demande est répartie au prorata des puissances nominales.

$$id_{fonction}^{gnr} = 3 \quad (1073)$$

  - **Hors période d'activation ($\boldsymbol{id_{encl}^{gen}(j) \neq 1}$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

  - **Au cours de la période d'activation ($\boldsymbol{id_{encl}^{gen}(j) = 1}$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ecs}$
Charge du générateur (corrigée pour les générateurs ayant refroidi, $I^{gnr}_{a\_refroidi}(h) = 1$)

$$Q_{req} = \left[1 - i^{gnr}_{a\_refroidi}(h)\right] \times \frac{Rat^{gnr}_{pngen\_ecs}}{\sum_{gnrk \in G_{ecs}} \left[1 - i^{gnr}_{a\_refroidi}(h)\right] \times Rat^{gnrk}_{pngen\_ecs}} \times Q^{gen}_{req\_tot\_ar\_ecs}(h) \quad (1074)$$

$$Q_{rest} = 0 \quad (1075)$$

Si $i^{gnr}_{a\_refroidi}(h) \neq 1$ (le générateur disponible car il n'a pas assuré le refroidissement), alors

Calcul de i_{ecs_seule} :
$i_{ecs\_seule} = 0$
Si $id^{gnr}_{fougen} = 3$ ou $Aut^{gen}_{ch}(j) = 0$, alors $i_{ecs\_seule} = 1$
$i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 0$
Si ($i^{gnr}_{hivernal} = 1$ et $I_{mois} \in \{1,2,3,4,5,10,11,12\}$) ou ($i^{gnr}_{hivernal} = 2$ et $I_{mois} \in \{5,6,7,8,9,10\}$), alors $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$
Si $i^{gnr}_{hivernal} = 0$ alors $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$
Si $Q^{gen,gr}_{req_{ecs}}(h) > 0$ ou $i_{ecs\_seule} = 1$ et $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$ alors,

Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1$
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(3;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ecs}(h) \\ Q_{req} \\ R_{pui\_dispo} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ i_{ecs\_seule} \end{bmatrix} \right)$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(3;en)}(h) \mathrel{+}= Q_{cef(3;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \mathrel{+}= Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \mathrel{+}= W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \mathrel{+}= \eta_{eff} \\ R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h) \mathrel{+}= R_{fonct\_ecs} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ecs}$
ou FIN DE LA BOUCLE

ETAPE 3 : appel des générateurs selon un mode de gestion sans priorité en **refroidissement** : la demande est répartie au prorata des puissances nominales.

$$id^{gnr}_{fonction} = 2 \quad (1076)$$

- **Hors saison de fonctionnement ($Aut^{gen}_{fr}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

- **En saison de fonctionnement ($Aut_{fr}^{gen}(j) = 1$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{fr}$
Charge du générateur

$$Q_{req} = \frac{Rat_{pngen\_fr}^{gnr}}{\sum_{gnrk \in G_{fr}} Rat_{pngen\_fr}^{gnrk}} \times Q_{req\_tot\_ar\_fr}^{gen}(h) \quad (1077)$$

$$Q_{rest} = 0 \quad (1078)$$

Si $Q_{req} > 0$ ou $id_{fougen}^{gnr} \neq 5$ ou $Aut_{ch}^{gen}(j) \neq 1$, (la demande en énergie est non-nulle, ou le générateur réversible est comptabilisé en refroidissement).

Indicateur de refroidissement :
Si $Q_{req} > 0$ alors $i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) = 1$
Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1 - R_{fonct\_ecs}^{gnr}(h)$
Si $R_{pui\_dispo} > 0$ (si la puissance disponible n'est pas nulle), alors,
Appel du générateur et définition des variables locales

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(2;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval\_fr}^{gnr}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction}^{gnr} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \right)$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q_{cef(2;en)}^{gnr}(h) += Q_{cef(2;en)} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q_{fou\_fr}^{gnr}(h) \quad += Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) \quad += Q_{prelec} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) \quad += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi_{rejet}^{gnr}(h) \quad += \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W_{aux,pro}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta_{eff\_fr}^{gnr}(h) \quad += \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{[po.]}$
ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 4 :** appel des générateurs selon un mode de gestion sans priorité en **chauffage** : la demande est répartie au prorata des puissances nominales.

$$id_{fonction}^{gnr} = 1 \quad (1079)$$

- **Hors saison de fonctionnement ($Aut_{ch}^{gen}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

- **En saison de fonctionnement ($Aut_{ch}^{gen}(j) = 1$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ch}$
Charge du générateur (corrigée pour les générateurs ayant refroidi, $i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) = 1$)

$$Q_{req} = \left[1 - i_{a\_refroidi}^{gnr}(h)\right] \times \frac{Rat_{pngen\_ch}^{gnr}}{\sum_{gnrk \in G_{ch}} \left[1 - i_{a\_refroidi}^{gnr}(h)\right] \times Rat_{pngen\_ch}^{gnrk}} \times Q_{req\_tot\_ar\_ch}^{gen}(h) \quad (1080)$$

$$Q_{rest} = 0 \quad (1081)$$

Note : à partir de cette ligne, pour les cas particuliers des générateurs thermo-frigo-pompes ($id_{type}^{gnr} = 508$) et DRV ($id_{type}^{gnr} = 509$) : se référer à la fiche « C_Gen_Transferts entre locaux par les générateurs DRV et thermofrigopompes » pour l'algorithme de la boucle.

Si $i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) \neq 1$ (le générateur disponible car il n'a pas assuré le refroidissement), alors

Calcul du ratio de puissance disponible

$R_{pui\_dispo} = 1 - R_{fonct\_ecs}^{gnr}$

Si $R_{pui\_dispo} > 0$ (si la puissance disponible n'est pas nulle), alors,

Appel du générateur et définition des variables locales

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(1;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur\left(\begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval\_ch}^{gnr}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction}^{gnr} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}\right)$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q_{cef(1;en)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{cef(1;en)} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q_{fou\_ch}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi_{rejet}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W_{aux,pro}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux} \\ \eta_{eff\_fr}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ch}$
ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 5 :** calcul horaire de l'énergie reportée pour le poste considéré

$$Q_{rep\_[po.]}^{gen,gr}(h) = Q_{req\_tot\_ar\_[po.]}^{gen}(h) - \sum_{gnr \in G_{[po.]}} Q_{fou\_[po.]}^{gnr}(h) \quad (1082)$$

8.17.3.7.2.2 Mode de gestion en cascade ($id_{type\_priorite}^{gen} = 2$)

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$Q_{req} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_[po.]}(h) \quad (1083)$$

$$Q_{rest} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_[po.]}(h) \quad (1084)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs en **ECS** selon leurs disponibilités :

$$id^{gnr}_{fonction} = 3 \quad (1085)$$

  - **Hors période d'activation ($id^{gen}_{encl}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

  - **Au cours de la période d'activation ($id^{gen}_{encl}(j) = 1$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ecs}$ tel que $id^{gnr}_{priorite\_ecs} = 1$
Si $i^{gnr}_{a\_refroidi}(h) \neq 1$ (le générateur disponible car il n'a pas assuré le refroidissement), alors
Calcul de i_{ecs_seule} :
$i_{ecs\_seule} = 0$
Si $id^{gnr}_{fougen} = 3$ ou $Aut^{gen}_{ch}(j) = 0$, alors $i_{ecs\_seule} = 1$
$i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 0$
Si ($i^{gnr}_{hivernal} = 1$ et $I_{mois} \in \{1,2,3,4,5,10,11,12\}$) ou ($i^{gnr}_{hivernal} = 2$ et $I_{mois} \in \{5,6,7,8,9,10\}$), alors
$i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$
Si $i^{gnr}_{hivernal} = 0$ alors $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$
Si $Q_{req} > 0$ ou $i_{ecs\_seule} = 1$ et $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$ alors,

Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1$
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(3;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ecs}(h) \\ Q_{req} \\ R_{pui\_dispo} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ i_{ecs\_seule} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance
$R_{req} = R_{rest}$
Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(3;en)}(h) \mathrel{+}= Q_{cef(3;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \mathrel{+}= Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \mathrel{+}= W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \mathrel{+}= \eta_{eff} \\ R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h) \mathrel{+}= R_{fonct\_ecs} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ecs}$, tel que $id^{gnr'}_{priorite\_ecs}$ premier indicateur supérieur à $id^{gnr}_{priorite\_ecs}$ parmi les générateurs de G_{ecs}

ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 3 :** appel des générateurs en **refroidissement** : selon leurs disponibilités :

$$id^{gnr}_{fonction} = 2 \quad (1086)$$

  - **Hors saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut^{gen}_{fr}(j) \neq 1}$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.
  - **En saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut^{gen}_{fr}(j) = 1}$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE

Générateur $gnr \in G_{fr}$ tel que $id^{gnr}_{priorite\_fr} = 1$

Si $Q_{req} > 0$ ou $id^{gnr}_{fougen} \neq 5$ ou $Aut^{gen}_{ch}(j) \neq 1$, (la demande en énergie est non-nulle, ou la consommation à charge nulle du générateur réversible est comptabilisé en refroidissement car on se situe en hors période de chauffage).

Indicateur de refroidissement :

Si $Q_{req} > 0$, alors,

$$i^{gnr}_{a\_refroidi}(h) = 1$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui\_dispo} = 1 - R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h)$$

Si $R_{pui\_dispo} > 0$ (si la puissance disponible n'est pas nulle), alors,

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(2;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_fr}(h) \\ Q_{req} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance

$$R_{req} = R_{rest}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(2;en)}(h) += Q_{cef(2;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_fr}(h) \; += Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \; += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \; += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{rejet}(h) \; += \phi_{rejet} \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \; += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff\_fr}(h) \; += \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{fr}$, tel que $id^{gnr'}_{priorite\_fr}$ premier indicateur supérieur à $id^{gnr}_{priorite\_fr}$ parmi les générateurs de G_{fr}
ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 4 :** appel des générateurs en **chauffage** selon leurs disponibilités :

$$id^{gnr}_{fonction} = 1 \quad (1087)$$

  - **Hors saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut^{gen}_{ch}(j) \neq 1}$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.
  - **En saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut^{gen}_{ch}(j) = 1}$)** :

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ch}$ tel que $id^{gnr}_{priorite\_ch} = 1$
Si $i^{gnr}_{a\_refroidi}(h) \neq 1$ (le générateur disponible car il n'a pas assuré le refroidissement et il est sollicité), alors

Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1 - R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h)$
Si $R_{pui\_dispo} > 0$ (si la puissance disponible n'est pas nulle), alors,
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(1;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance
$R_{req} = R_{rest}$
Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(1;en)}(h) \mathrel{+}= Q_{cef(1;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_fr}(h) \mathrel{+}= Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{rejet}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \\ \phi^{gnr}_{vc}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \mathrel{+}= W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff\_fr}(h) \mathrel{+}= \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ch}$, tel que $id^{gnr'}_{priorite\_ch}$ premier indicateur supérieur à $id^{gnr}_{priorite\_ch}$ parmi les générateurs de G_{ch}
ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 5 :** calcul horaire de l'énergie reportée pour le poste considéré (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le dernier générateur de la cascade) :

$$Q_{rep\_[po.]}^{gen,gr}(h) = Q_{rest} \quad (1088)$$

8.17.3.7.2.3 Mode de gestion en alternance ($\boldsymbol{id_{type\_priorite}^{gen} = 3}$)

Ce mode de gestion décrit le fonctionnement en alternance d'un ensemble de générateurs pour un poste donné, ou éventuellement une fonction biposte chauffage et ECS.

Dans tous les cas, on impose une **vérification supplémentaire de cohérence du montage** : tous les générateurs doivent avoir le même id_{fougen}^{gnr}, et il ne peut pas s'agir de $id_{fougen}^{gnr} = 4$ *(chauffage et refroidissement).*

Pour ce mode de gestion, un tri préalable des générateurs est effectué : l'indice $gnr = 1$ est attribué au générateur de puissance nominale la plus élevée, et ainsi de suite.

8.17.3.7.2.3.1 <u>Cas d'une génération monoposte refroidissement</u>

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$Q_{req} = Q_{rep\_tot\_ar\_fr}^{gen,gr}(h) \quad (1089)$$

$$Q_{rest} = Q_{rep\_tot\_ar\_fr}^{gen,gr}(h) \quad (1090)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs en **refroidissement** selon leurs disponibilités pour le poste unique donné :

$$id_{fonction}^{gnr} = 2 \quad (1091)$$

  - **Hors saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut_{fr}^{gen}(j) \neq 1}$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.
  - **En saison de fonctionnement ($\boldsymbol{Aut_{fr}^{gen}(j) = 1}$) :**

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{fr}$ de plus grande puissance nominale,
Compteur de basculement :
Si $Q_{req} \leq Rat_{dim}^{gnr} \times P_{ngen\_fr}^{gnr+1}$ (le générateur est surdimenssionné par rapport à la demande), alors,
$N_{basculement}^{gnr}(h) = \max\left(0; N_{basculement}^{gnr}(h-1) - 1\right)$
Sinon
$N_{basculement}^{gnr}(h) = N_{basculement\_init}^{gnr}$ (le compteur de basculement marche /arrêt est réinitialisé)
Algorithme principal
Si $N_{basculement}^{gnr}(h) > 0$ (le générateur est activé), alors,
Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1$
Indicateur de fonctionnement en froid
$i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) = 1$
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(2;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance

$Q_{req} = Q_{rest}$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(2;en)}(h) += Q_{cef(2;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \; += Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \; += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \; += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \quad += \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \; += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \; += \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

Mise à jour de l'énergie reportée

$Q_{rest} = Q_{req}$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{fr}$, puissance inférieure à celle de gnr
ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 3 :** calcul horaire de l'énergie reportée

$$Q^{gen,gr}_{rep\_fr}(h) = Q_{rest} \quad (1092)$$

8.17.3.7.2.3.2 Cas d'une génération monoposte ECS

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$Q_{req} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_ecs}(h) \quad (1093)$$

$$Q_{rest} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_ecs}(h) \quad (1094)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs de production d'**ECS** selon leurs disponibilités :

$$id^{gnr}_{fonction} = 3 \quad (1095)$$

  - **Hors période d'activation ($id^{gen}_{encl}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.
  - **Au cours de la période d'activation ($id^{gen}_{encl}(j) = 1$) :**

DEBUT DE LA BOUCLE

Générateur $gnr \in G_{ecs}$ de plus grande puissance nominale,

Compteur de basculement :

Si $Q_{req} \leq Rat^{gnr}_{dim} \times P^{gnr+1}_{ngen\_ecs}$ (le générateur est surdimenssionné par rapport à la demande), alors,

$N^{gnr}_{basculement}(h) = \max\left(0; N^{gnr}_{basculement}(h-1) - 1\right)$

Sinon

$N^{gnr}_{basculement}(h) = N^{gnr}_{basculement\_init}$ (le compteur de basculement marche /arrêt est réinitialisé)

Algorithme principal

$i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 0$

Si ($i^{gnr}_{hivernal} = 1$ et $I_{mois} \in \{1,2,3,4,5,10,11,12\}$) ou ($i^{gnr}_{hivernal} = 2$ et $I_{mois} \in \{5,6,7,8,9,10\}$), alors $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$

Si $i^{gnr}_{hivernal} = 0$ alors $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$

Si $N^{gnr}_{basculement}(h) > 0$ (le générateur est activé) et $i^{gnr}_{ecs\_fonction} = 1$, alors,

Calcul du ratio de puissance disponible

$R_{pui\_dispo} = 1$

Calcul de i_{ecs_seule} :

$i_{ecs\_seule} = 1$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(3;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ecs}(h) \\ Q_{req} \\ R_{pui\_dispo} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ i_{ecs\_seule} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance

$Q_{req} = Q_{rest}$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(3;en)}(h) \mathrel{+}= Q_{cef(3;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \mathrel{+}= Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \mathrel{+}= Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \mathrel{+}= Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \mathrel{+}= R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \mathrel{+}= \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \mathrel{+}= \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \mathrel{+}= W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \mathrel{+}= W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \mathrel{+}= \eta_{eff} \\ R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h) \mathrel{+}= R_{fonct\_ecs} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

Mise à jour de l'énergie reportée

$Q_{rest} = Q_{req}$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ecs}$, puissance inférieure à celle de gnr ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 3 :** calcul horaire de l'énergie reportée

$$Q^{gen,gr}_{rep\_ecs}(h) = Q_{rest} \quad (1096)$$

8.17.3.7.2.3.3 Cas d'une génération monoposte chauffage

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$Q_{req} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_ch}(h) \quad (1097)$$

$$Q_{rest} = Q^{gen,gr}_{rep\_tot\_ar\_ch}(h) \quad (1098)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs de production de **chauffage** selon leurs disponibilités :

$$id^{gnr}_{fonction} = 1 \quad (1099)$$

  - **Hors saison de fonctionnement ($Aut^{gen}_{ch}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

  - **En saison de fonctionnement ($Aut^{gen}_{ch}(j) = 1$) :**

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ch}$ de plus grande puissance nominale,
Compteur de basculement :
Si $Q_{req} \leq Rat^{gnr}_{dim} \times P^{gnr+1}_{ngen\_ch}$ (le générateur est surdimenssionné par rapport à la demande), alors,
$N^{gnr}_{basculement}(h) = \max\left(0; N^{gnr}_{basculement}(h-1) - 1\right)$
Sinon
$N^{gnr}_{basculement}(h) = N^{gnr}_{basculement\_init}$ (le compteur de basculement marche /arrêt est réinitialisé)
Algorithme principal
Si $N^{gnr}_{basculement}(h) > 0$ (le générateur est activé), alors,
Calcul du ratio de puissance disponible
$R_{pui\_dispo} = 1$
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(1;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur\left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix} \right)$$

Report de puissance
$Q_{req} = Q_{rest}$
Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(1;en)}(h) += Q_{cef(1;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \; += Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \quad += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \; += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \quad += \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \; += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \quad += \eta_{eff} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».
Mise à jour de l'énergie reportée
$Q_{rest} = Q_{req}$
GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ch}$, puissance inférieure à celle de gnr

ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 3 :** calcul horaire de l'énergie reportée

$$Q_{rep\_ch}^{gen,gr}(h) = Q_{rest} \quad (1100)$$

8.17.3.7.2.3.4 Cas d'une génération double postes chauffage et ECS ($id_{fougen}^{gnr} = 4$)

Le cas chauffage/ECS est particulier, dans la mesure où c'est la demande totale (chauffage + ECS) qui va décider de quelle configuration de générateurs utiliser. L'algorithme n'entre donc pas dans le cas général.

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$Q_{req\_ecs} = Q_{req\_tot\_ar\_ecs}^{gen,gr}(h) \quad (1101)$$

$$Q_{rest\_ecs} = Q_{req\_tot\_ar\_ecs}^{gen,gr}(h) \quad (1102)$$

$$Q_{req\_ch} = Q_{req\_tot\_ar\_ch}^{gen,gr}(h) \quad (1103)$$

$$Q_{rest\_ch} = Q_{req\_tot\_ar\_ch}^{gen,gr}(h) \quad (1104)$$

- **ETAPE 2** : appel des générateurs en cascade selon leurs disponibilités :

$$id_{fonction}^{gnr} = 1 \quad (1105)$$

  - **Hors saison de fonctionnement ($Aut_{ch}^{gen}(j) \neq 1$ et $id_{encl}^{gen}(j) \neq 1$)** : Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

  - **En saison de fonctionnement ($Aut_{ch}^{gen}(j) = 1$ ou $id_{encl}^{gen}(j) = 1$) :**

DEBUT DE LA BOUCLE
Générateur $gnr \in G_{ch}$ de plus grande puissance nominale,
Compteur de basculement :
Si $Q_{req\_ch} + Q_{req\_ecs} \leq Rat_{dim}^{gnr} \times P_{ngen\_ch}^{gnr+1}$ (le générateur est surdimenssionné par rapport à la demande), alors,

$N_{basculement}^{gnr}(h) = \max\left(0; N_{basculement}^{gnr}(h-1) - 1\right)$

Sinon

$N_{basculement}^{gnr}(h) = N_{basculement\_init}^{gnr}$ (le compteur de basculement marche /arrêt est réinitialisé)

Algorithme principal
Si $N_{basculement}^{gnr}(h) > 0$ (le générateur est activé), alors,
Calcul de i_{ecs_seule} :
$i_{ecs\_seule} = 0$
$Aut_{ch}^{gen}(j) = 0$, alors, $i_{ecs\_seule} = 1$
Calcul du ratio de puissance disponible (partie ECS)
$R_{pui\_dispo} = 1$
Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(3;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \\ R_{fonct\_ecs} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ecs}(h) \\ Q_{req} \\ R_{pui\_dispo} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ i_{ecs\_seule} \end{bmatrix} \right)$$

Post-traitement du générateur (partie ECS) :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(3;en)}(h) += Q_{cef(3;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \; += Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \; += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \; += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \quad += \phi_{rejet} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \; += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \quad += \eta_{eff} \\ R^{gnr}_{fonct\_ecs}(h) \; += R_{fonct\_ecs} \end{cases}$$

Report de puissance

$Q_{req\_ecs} = Q_{rest\_ecs}$

Calcul du ratio de puissance disponible

$R_{pui\_dispo} = 1 - R^{gnr}_{font\_ecs}(h)$

Si $R_{pui\_dispo} > 0$ et si $i_{ecs\_seule} = 0$, alors,

Appel du générateur en chauffage

$$\begin{bmatrix} Q_{cef(1;en)} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cdots \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \left(\begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta^{gnr}_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ R_{pui\_dispo} \\ i^{gnr}_{fonction} \\ i_{ecs\_seule} \end{bmatrix} \right)$$

Post-traitement du générateur (partie chauffage) :

$$\begin{cases} Q^{gnr}_{cef(1;en)}(h) += Q_{cef(1;en)} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) \quad += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ecs}(h) \; += Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) \; += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) \; += R_{pui\_dispo} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad \begin{cases} \phi^{gnr}_{vc}(h) \quad += \phi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) \; += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) \quad += W_{aux} \\ \eta^{gnr}_{eff_{ecs}}(h) \quad += \eta_{eff} \\ \phi^{gnr}_{rejet}(h) \quad += \phi_{rejet} \end{cases}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

Report de puissance

$Q_{req\_ch} = Q_{rest\_ch}$

Mise à jour de l'énergie reportée

$Q_{rest\_ch} = Q_{req\_ch}$

$Q_{rest\_ecs} = Q_{req\_ecs}$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{[po.]}$, puissance inférieure à celle de gnr ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 3 :** calcul horaire de l'énergie reportée

$$Q_{rep\_ch}^{gen,gr}(h) = Q_{rest\_ch}$$
$$Q_{rep\_ecs}^{gen,gr}(h) = Q_{rest\_ecs} \quad (1106)$$

8.17.3.8 *Calculs des auxiliaires amont des générateurs*

La fiche « *C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques* » décrit le calcul des puissances des auxiliaires amont en fonction de la charge des différents générateurs thermodynamiques reliés.

Le calcul est réalisé après finalisation des algorithmes de gestion des priorités, pour l'ensemble des générateurs tels que $id_{source\_amont}^{gnr} = 1$, uniquement pendant les périodes de fonctionnement du générateur :

Soit l'ensemble des générateurs $gnr = 1$ à N associés à la source amont SA

$$\left[W_{aux,am}^{gnr}(h)\right]_{gnr=1\text{ à }N} = CalculAuxAmont^{SA}\left(\left[\tau_{charge}^{gnr}(h)\right]_{gnr=1\text{ à }N}\right) \quad (1107)$$

La consommation des auxiliaires amont est ajoutée à celle des auxiliaires, ainsi qu'à la matrice de consommations du générateur au prorata des charges dans les différents postes.

$$W_{aux}^{gnr,gr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,am}^{gnr}(h) \quad (1108)$$

Si $i_{a\_refroidi}^{gnr}(h) = 1$, alors,

$$Q_{cef(2;50)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

Sinon,

Si $\tau_{charge}^{gnr}(h) > 0$, alors,

$$Q_{cef(2;50)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \left[1 - \frac{R_{font\_ecs}^{gnr}(h)}{\tau_{charge}^{gnr}(h)}\right] \times W_{aux,am}^{gnr}(h)$$
$$Q_{cef(3;50)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= \frac{R_{font\_ecs}^{gnr}(h)}{\tau_{charge}^{gnr}(h)} \times W_{aux,am}^{gnr}(h) \quad (1109)$$

Sinon (en l'absence de charge sur le générateur),

Si $id_{fougen}^{gnr} = 3$ ou $Aut_{ch}^{gen}(j) = 0$ (équivalent à $id_{ecs\_seule} = 1$), alors,

$$Q_{cef(3;50)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

Sinon,

$$Q_{cef(1;50)}^{gnr}(h) \mathrel{+}= W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

8.17.3.9 *Post traitement*

8.17.3.9.1 Calculs pour la génération

La matrice des consommations par énergie et par poste de la génération est obtenue par sommations des matrices des consommations de chacun des générateurs (voir Tableau 112).

La consommation du réchauffeur de boucle de la distribution intergroupe d'ECS est ajoutée dans la matrice de consommation de la génération.

$$Q^{gen}_{cef(po.;en.)}(h) = \sum_{gnr \in gen} Q^{gnr}_{cef(po.;en.)}(h) \quad (1110)$$

$$Q^{gen}_{cef(3;50)}(h) \mathrel{+}= \sum_{dp-e \in gen} W^{dp-e}_{rechauffe}(h) \quad (1111)$$

Les pertes vers la génération et la production totale d'électricité (cogénération) sont sommées sur les générateurs :

$$\begin{cases} \phi^{gen}_{vc\_tot} = \sum_{gnr \in gen} \phi^{gnr}_{vc}(h) + \sum_{sto \in gen} \phi^{sto}_{vc}(h) \\ Q^{gen}_{prelec\_tot} = \sum_{gnr \in gen} Q^{gnr}_{prelec}(h) \end{cases} \quad (1112)$$

8.17.3.9.2 Sous-dimensionnement de la génération en chauffage et/ou production d'ECS

Les indicateurs de sous-dimensionnement de la génération sont communs au chauffage et à l'ECS. Ils ne concernent que les générateurs (le sous-dimensionnement des ballons de stockage est évaluée séparément).
Le nombre d'heures de sous-dimensionnement permet de déclencher les alertes dans le cas où la capacité de la génération est dépassée sur de longues périodes :

Si ($Q_{rep\_ch}(h) > 0$ ou $Q_{rep\_ecs}(h) > 0$) et $id^{gen}_{relance\_ch}(h)$ = False, alors,

$$Nb_{sousdim\_ch}(h) = Nb_{sousdim\_ch}(h-1) + 1 \quad (1113)$$

Sinon,

$$Nb_{sousdim\_ch}(h) = 0$$

À partir de 6 heures de sous-dimensionnement successives, on considère qu'il y a sous-dimensionnement :

Si $Nb_{sousdim\_ch}(h) > 6$, alors,

$$id^{gnr}_{sousdim\_court\_ch} = 1 \quad (1114)$$

À partir de 72 heures de sous-dimensionnement successives, on considère que le sous-dimensionnement a dépassé le seuil critique :

Si $Nb_{sousdim\_ch}(h) > 72$, alors,

$$id^{gnr}_{sousdim\_long\_ch} = 1 \quad (1115)$$

8.17.3.9.3 Sous-dimensionnement de la génération en refroidissement

Les indicateurs de sous-dimensionnement de la génération sont communs au chauffage et à l'ECS. Ils ne concernent que les générateurs (le sous-dimensionnement des ballons de stockage est évaluée séparément).
Le nombre d'heures de sous-dimensionnement permet de déclencher les alertes dans le cas où la capacité de la génération est dépassée sur de longues périodes :

Si $Q_{rep\_fr}(h) > 0$, alors,

$$Nb_{sousdim\_fr}(h) = Nb_{sousdim\_fr}(h-1) + 1 \quad (1116)$$

Sinon,

$$Nb_{sousdim\_fr}(h) = 0$$

À partir de 6 heures de sous-dimensionnement successives, on considère qu'il y a sous-dimensionnement :

Si $Nb_{sousdim\_fr}(h) > 6$, alors,

$$id^{gnr}_{sousdim\_court\_fr} = 1 \quad (1117)$$

À partir de 72 heures de sous-dimensionnement successives, on considère que le sous-dimensionnement a dépassé le seuil critique :

Si $Nb_{sousdim\_fr}(h) > 72$, alors,

$$id^{gnr}_{sousdim\_long\_fr} = 1 \quad (1118)$$

8.18 C_GEN_Générateur direct à effet joule

8.18.1 INTRODUCTION

Les générateurs directs électriques à effet joule sont modélisés comme des générateurs parfaits, à rendement unitaire.

Ces générateurs sont notamment à employer pour modéliser les appoints électriques des systèmes thermodynamiques ou solaires.

8.18.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 113 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
Q_{req}	Demande en énergie transmise au générateur via la gestion/régulation de la génération.	Wh
$id_{fonction}$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le Q_{req} (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multi-fonctions.	Ent

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_{fougen}	Fonction du générateur : *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent	1	5	
id_{engen}	Energie principale du générateur.	Ent	10	69	
P_{ngen}	Puissance fournie en fonctionnement nominal (100% de charge) du générateur.	W	0	+∞	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef(fonct.;en.)}\}$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh
Q_{cons}	Consommation horaire du générateur en énergie finale.	Wh
Q_{fou}	Energie totale effectivement fournie par le générateur au pas de temps h.	Wh
τ_{charge}	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel

Q_{rest}	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh
$W_{aux,pro}$	Consommations d'auxiliaire au pas de temps h.	Wh
Φ_{vc}	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises vers l'ambiance chauffée.	Wh
η_{eff}	Ratio d'efficacité du générateur (rendement)	Réel
$R_{fonctecs}$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS à charge maximale au pas de temps h.	Réel

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\Phi_{threcact}$	Pertes thermiques effectives du générateur vers l'ambiance au pas de temps h.	Wh

Tableau 113 : Nomenclature du modèle

8.18.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.18.3.1 ***Paramétrage***

Le générateur à effet joule correspond au type *500*.

Les valeurs de id_{fougen} autorisées pour un générateur à effet joule sont :

- *1 : Chauffage*
- *3 : ECS*

Un générateur à effet joule ne peut pas avoir une fonction mixte de chauffage et d'ECS.

8.18.3.2 ***Calcul en chauffage***

8.18.3.2.1 Calcul de l'efficacité, des pertes et de la consommation d'auxiliaire

Les générateurs direct à effet joule sont conventionnellement modélisés par des générateurs parfaits, sans pertes ni consommations d'auxiliaires :

$$\eta_{gnr} = 1$$
$$W_{aux,pro} = 0 \ (Wh) \quad (1119)$$
$$\Phi_{threcact} = 0 \ (Wh)$$

8.18.3.2.2 Puissance maximale disponible

La puissance nominale fournie par le générateur à effet joule est égale à sa puissance nominale. Elle ne dépend pas des conditions extérieures :

$$P_{max} = P_{ngen} \quad (1120)$$

8.18.3.2.3 Calcul de la consommation, des pertes vers l'ambiance et de l'énergie reportée

$$Q_{fou} = MIN(Q_{req}; P_{max}) \quad (1121)$$
$$Q_{cons} = Q_{fou}$$

$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{cons} \quad (1122)$$

$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fou}}{P_{\max}} \quad (1123)$$

$$\Phi_{vc} = 0 \ (Wh) \quad (1124)$$

8.18.3.3 ***Calcul en ECS***

Le calcul est identique à celui en chauffage (voir 8.18.3.2).

On rajoute le calcul du ratio de fonctionnement en ECS :

$$R_{fonctecs} = \tau_{charge} \quad (1125)$$

8.18.3.4 *Matrice des consommations du générateur*

La consommation en énergie finale du générateur est insérée dans la case correspondant à l'usage (chauffage ou ECS) et au type d'énergie « 50 : électricité ».

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 114: Matrice des consommations en énergies finales {$Q_{cef\ (poste;énergie)}$}

8.19 C_GEN_Chaudières_gaz_fioul_bois

8.19.1 INTRODUCTION

Cette fiche permet de calculer les performances des générateurs à combustion :

- Puissance
- Puissance absorbée (ou débit calorifique sur PCI)
- Rendement sur PCI
- Puissance des auxiliaires
- Perte thermique récupérable dans l'ambiance

Les générateurs traités sont :

- Chaudière à gaz : condensation, basse température, standard
- Chaudière fioul : condensation, basse température, standard
- Chaudière bois bûches, granulés ou plaquettes,

8.19.2 NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous constitue la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
Gestion/régulation de la génération	$\theta_{aval,ECS}(h)$ $\theta_{aval,CH}(h)$	Température moyenne d'eau de chauffage ou ECS au pas de temps h	°C			
	$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve le générateur.	°C			
	$Q_{req,CH}(h)$ $Q_{req,ECS}(h)$	Quantité d'énergie thermique à fournir par le générateur au pas de temps h pour le poste chauffage ou ECS	Wh			
	$i_{ECS\_seule}(h)$	Indicateur de production ECS seule au pas de temps h	Bool			

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
R_{dim}	Nombre de générateurs identiques	Entier	0	+∞	1
$id_{raccord\_gnr}$	Type de raccordement des générateurs entre eux, pour un mode de gestion avec priorité : *0 : Permanent,* *1 : Avec isolement*	Ent	0	1	1
id_{pos_gen}	Position de la génération : 1 : En volume chauffé, 0 : Hors volume chauffé.	Menu	0	1	1

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
Généraux	id_{type}	Type du générateur.	Ent	1	1000	Voir Tableau 116
	Id_fou_gen	Fonction du générateur.	Menu	1	5	
	TypeCombustibleBois	Type de combustible bois : 1) Bûches, 2) Granulés, 3) Plaquettes	Menu	1	3	
Performances rendements	Pn_gen	Puissance thermique utile nominale du générateur en régime haute température	kW	0	+∞	-
	R_pn	Rendement thermique sur PCS à la puissance nominale en régime haute température	%	0	100	-

	Waux_nom	Puissance électrique absorbée à pleine charge	W	0	+∞	-
	Pint	Puissance thermique utile à 30% de charge en régime basse température	kW	0	+∞	-
	R_pint	Rendement thermique sur PCS à la puissance P_{int} en régime basse température	%	0	100	-
	Waux_int	Puissance électrique absorbée à charge intermédiaire P_{int}	W	0	+∞	-
	Wveille	Puissance électrique absorbée à charge nulle	W	0	+∞	-
	Alim_Chaudiere_Bois	Type de chargement de la chaudière bois : *0) Chargement manuel, tirage naturel* *1) Chargement manuel, air pulsé* *2) Chargement automatique, tirage naturel* 3) *Chargement automatique, air pulsé*	Menu	0	3	
	Q_po_30	Pertes thermiques en régime stabilisé pour un ΔT de 30°C	W	0	+∞	-
Pertes récupérables	id_{pertes_parois}	Indicateur pour la prise en compte des pertes par les parois à l'arrêt. Voir Tableau 122.	Menu	1	3	-
	$p_{\_Qp.g\_arret}$	Part des pertes par les parois du générateur à l'arrêt (conventionnel).	Réel	0	1	Voir Tableau 122 et Tableau 123
	$p_{\_Qp.g\_fonct}$	Part des pertes par les parois du générateur en fonctionnement (conventionnel).	Réel	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité			
id_{fluide_aval}	Type de fluide caloporteur : 1 : eau, 2 : air ambiant.	Ent	1	2	
id_{engen}	Type d'énergie principal du générateur.	Ent	10	69	
θ_{fonct_max}	Température de fonctionnement maximale du générateur	°C	20	100	100
θ_{fonct_min}	Température de fonctionnement minimale du générateur	°C	20	100	30
$\{Q_{cef(fo.;en.)}\}(h)$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh			
$Q_{cons}(h)$	Quantité d'énergie totale consommée par le générateur pour le type d'énergie principal	Wh			

$Q_{fou}(h)$	Quantité d'énergie totale fournie par le générateur	Wh
$Q_{fou,ch}(h)$ $Q_{fou,ecs}(h)$	Quantité d'énergie totale effectivement fournie par le générateur en chauffage et ECS	Wh
$Q_{rest,ch}(h)$ $Q_{rest,ecs}(h)$	Quantité d'énergie requise et non-fournie par le générateur en chauffage et ECS	Wh
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel
$W_{aux,pro}(h)$	Consommations d'auxiliaire propre au processus de génération.	Wh
$\eta_{eff}(h)$	Rendement du générateur exprimé sous forme de réel.	Réel
$\Phi_{vc}(h)$	Quantité d'énergie échangée entre le générateur et l'ambiance dans lequel il est placé.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{aval,ch}(h)$ $\theta_{aval,ecs}(h)$	Température moyenne d'eau aval au pas de temps h	°C
$\theta_{aval,cr\_ch}(h)$ $\theta_{aval,cr\_ecs}(h)$	Température moyenne d'eau aval au pas de temps h	°C
$P_{\_th,nom,ch}(h)$ $P_{\_th,nom,ecs}(h)$	Puissances thermiques nominales du générateur en chauffage et production ECS	W
$P_{\_th,int,ch}(h)$ $P_{\_th,int,ecs}(h)$	Puissances thermiques intermédiaires du générateur en chauffage et production ECS	W
$R_{puis,dispo}(h)$	Ratio de puissance disponible pour le poste chauffage	Réel
$Q_{pertes}(h)$	Quantités d'énergie perdues par l'enveloppe de la chaudière et dans les fumées totale du générateur au pas de temps h	Wh
$Q_{pertes,ch}(h)$ $Q_{pertes,ecs}(h)$	Quantités d'énergie perdues par l'enveloppe de la chaudière et dans les fumées en chauffage et ECS	Wh
$Q_{cons,ch}(h)$ $Q_{cons,ecs}(h)$	Quantités d'énergie consommées en chauffage et ECS	Wh
$\phi_{th,stab,ch}(h)$ $\phi_{th,stab,ecs}(h)$	Pertes thermiques en régime stabilisé de l'appareil ramenées à la température aval en chauffage et ECS	Wh
$\Phi_{pertes,int,ch}(h)$ $\Phi_{pertes,int,ecs}(h)$	Pertes thermiques de la chaudière au taux de charge intermédiaire	Wh
$\Phi_{pertes,nom,ch}(h)$ $\Phi_{pertes,nom,ecs}(h)$	Pertes thermiques de la chaudière au taux de charge nominal	Wh
fx	Facteur d'interpolation	Réel

$R_{fonctecs}(h)$	Temps de fonctionnement de l'ECS à charge maximale au pas de temps h	Réel	0	1	0
$R_{puisdispo}(h)$	Ratio de puissance disponible pour le service chauffage au pas de temps h	Réel	0	1	0
$Q_{Parrêt}$	Coefficient intervenant dans les pertes thermiques	W	>0	1000	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Valeur
$PCSI\{type\_combustible\}$	Ratio du PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur) sur le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)	Réel	Voir Tableau 117
c1 à c10, n	Coefficients pour la détermination des valeurs par défaut des chaudières gaz, fioul et bois	Réel	Voir §8.19.3.1.4
t_h	Durée d'un pas de temps de simulation	h	1

Tableau 115 : Nomenclature du modèle

8.19.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.19.3.1 ***Calculs en préprocesseur***

8.19.3.1.1 Données générales

Les générateurs à combustion regroupent l'ensemble des générateurs suivants :

Type_Generateur	id_{engen}	id_{fluide_aval}
0) Chaudière à gaz classique	10	1
1) Chaudière gaz à condensation	10	1
2) Chaudière fioul classique	20	1
3) Chaudière fioul à condensation	20	1
4) Chaudière bois	40	1

Tableau 116: liste des déclinaisons de chaudières

Le ratio PCS/PCI est donné dans le tableau suivant :

Combustible	Id_{engen}	PCSI
Gaz naturel	10	1,11
GPL (Butane et Propane)	10	1,09
FOD	20	1,07
Bois	40	1,08

Tableau 117: Valeur du coefficient PCSI en fonction du type de combustible

Pour les chaudières bois, le type de combustible bois est également précisé via TypeCombustibleBois (bûches, granulés ou plaquettes).

8.19.3.1.2 Températures limites de fonctionnement

La température maximale de fonctionnement est prise conventionnellement égale à 100°C pour tous les générateurs à combustion.

Concernant la température minimale de fonctionnement, elle est fixée conventionnellement à :

- 40°C pour les chaudières gaz ou fioul classique,
- 30°C pour les chaudières gaz ou fioul à condensation,
- 70°C pour les chaudières bois.

8.19.3.1.3 Saisie des rendements et autres paramètres de performance énergétique

Les normes applicables pour la caractérisation des performances des chaudières sont les suivantes :

Technologie	*Norme de référence*
Chaudière gaz	NF EN 15502-1 +A1 : Chaudières de chauffage central utilisant les combustibles gazeux - Partie 1 : exigences générales et essais NF EN 303-7 Chaudières de chauffage - Partie 7 : chaudières de chauffage central équipées d'un brûleur à air soufflé utilisant les combustibles gazeux de puissance utile inférieure ou égale à 1000 kW
Chaudière fioul	NF EN 304 : Chaudières de chauffage - Règles d'essai pour les chaudières pour brûleurs à fioul à pulvérisation
Chaudière bois	NF EN 12809 : Chaudières domestiques à combustible solide destinées à être implantées dans le volume habitable - Puissance calorifique nominale inférieure ou égale à 50 kW - Exigences et méthodes d'essai (Tirage 3) NF EN 303-5 : Chaudières de chauffage central - Partie 5 : chaudières spéciales pour combustibles solides, à chargement manuel et automatique, puissance utile inférieure ou égale à 500 kW - Définitions, exigences, essais et marquage

Tableau 118: normes applicables pour la caractérisation des performances thermiques des chaudières

Concernant les rendements R_pn et R_pint, les différents statuts de donnée suivants sont possibles pour la valeur pivot :

- **certifiée :** la valeur est certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes définies dans le Tableau 118.

  Aucune correction de la valeur saisie n'est appliquée.

- **justifiée :** la valeur est mesurée au cours d'un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes définies dans le Tableau 118.

  Une réduction de 10% de la valeur saisie est appliquée.

- **déclarée :** la valeur est déclarée par le fabricant du produit.

  Une réduction de 20% de la valeur saisie est appliquée.

- **par défaut** : aucune information disponible.

  La valeur est imposée (voir §8.19.3.1.4 ci-dessous).

En amont de l'application de ces corrections, on vérifiera que les rendements R_pn et R_pint du générateur ne correspondent pas à des rendements ramenés au PCS supérieurs à l'unité. Le message d'erreur émis dans le cas où cette condition n'est pas respectée est le suivant : *« Générateur à combustion : la saisie des performances du générateur à combustion conduit à des rendements sur PCS égaux ou supérieurs à l'unité ».*

Concernant les pertes à l'arrêt Q_po_30 (en Wh), deux statuts sont reconnus :

- soit mesurée : *la valeur est connue, sans nécessairement qu'elle soit certifiée ou justifiée au sens évoqué pour les rendements,*

- soit par défaut, si la valeur est inconnue. *Dans ce cas, la valeur est imposée (voir §8.19.3.1.4 ci-dessous).*

Même chose pour les puissances électriques absorbées par les auxiliaires Wveille, Waux_nom et Waut_int.

8.19.3.1.4 Valeurs par défaut

Rendements à pleine charge et charge intermédiaire :

$$R\_pn = \frac{c1 + c2.\log(P\_ngen)}{100.PCSI} \quad (1126)$$

$$R\_pint = \frac{c3 + c4.log(P\_ngen)}{100\,.PCSI} \quad (1127)$$

Pertes thermiques en régime stabilisé (en W) :

$$Q\_po\_30 = 1000.c5.(P\_ngen)^{c6}.P\_ngen \quad (1128)$$

Les coefficients c1 à c6 sont définis selon la catégorie de générateur dans le tableau ci-dessous :

	Chaudière gaz ou fioul avec Pn_gen ≤ 400 kW	***Chaudière gaz ou fioul avec Pn_gen > 400 kW***	***Chaudière bois***	
			Bûche	*Granulés /plaquettes*
c1	94,0	96,6	*89*	*91*
c2	1,0	0	*2,0*	*2,0*
c3	103,0	105,6	*84*	*88*
c4	1,0	0	*2,0*	*2,0*
c5	4,0	4,0	*14,0*	*14,0*
c6	-0,4	0	*-0,28*	*-0,28*

Tableau 119 : valeurs par défaut des chaudières gaz et fioul, coefficients c1 à c6

Puissances électriques absorbées par défaut :

$$Wveille = 20{,}0 \quad \text{(W)} \quad (1129)$$

$$Waux\_nom = c7 + c8.(P\_ngen)^n \quad (1130)$$

$$Waux\_int = c9 + c10.(P\_int)^n \quad (1131)$$

Les coefficients c7 à c10 et n sont définis selon la catégorie de générateur dans le tableau ci-dessous :

	Chaudière gaz ou fioul	***Chaudière bois***			
		Chargement manuel, tirage naturel	*Chargement manuel, air pulsé*	*Chargement automatique, tirage naturel*	*Chargement automatique, air pulsé*
c7	*0*	*0*	*74*	*0*	*74*
c8	*45*	*0*	*0,5*	*10*	*10,5*
c9	*0*	*0*	*74*	*0*	*74*
c10	*15*	*0*	*0,5*	*10*	*10,5*
n	*0,48*	*1*	*1*	*1*	*1*

Tableau 120: valeurs par défaut des chaudières gaz, fioul et bis, coefficients c7 à c10 et n

Pour les chaudières bois, dans le cas où on a recours à des valeurs par défaut pour Waux_nom et int, un paramètre supplémentaire Alim_Chaudière_Bois est demandé pour préciser la sous-catégorie (chargement manuel, automatique, tirage naturel ou air pulsé).

8.19.3.2 *Calcul au pas de temps horaire*

A chaque pas de temps, le présent algorithme calcule les consommations d'énergie associé au fonctionnement de la chaudière par rapport à une quantité d'énergie requise $Q_{req}(h)$ et une température aval de fonctionnement $\theta_{aval}(h)$.

8.19.3.2.1 Correction des rendements thermiques et des pertes thermiques en régime stabilisé en fonctionnement de la température du générateur

Les rendements thermiques à pleine charge et charge intermédiaire sont mesurés dans des conditions de température donnée. Lorsque la température aval imposée au pas de temps h est différente de celle maintenue au cours des mesures, il convient de corriger les valeurs de rendements utilisés dans le calcul.

La correction appliquée des rendements en fonction de la température aval au pas de temps h est illustrée ci-dessous :

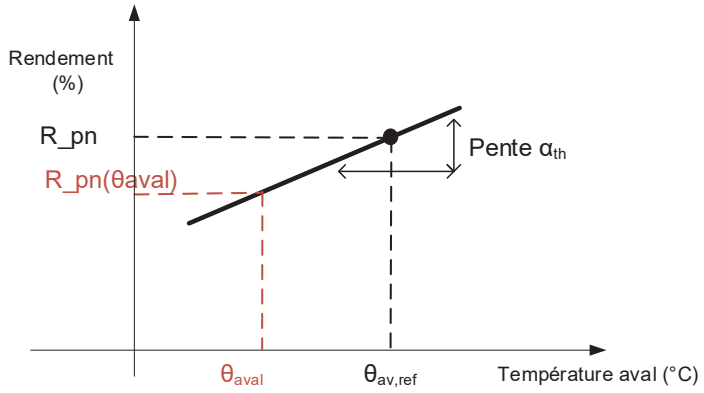


Figure 113: principe de la correction de rendement en fonction de la température aval

Ainsi :

$$R\_pn(\theta_{aval}) = R\_pn + \alpha_{th,nom}.\left(\theta_{av,ref,nom} - \theta_{aval}\right) \quad (en\ \%) \qquad (1132)$$

$$R\_pint(\theta_{aval}) = R\_pint + \alpha_{th,int}.\left(\theta_{av,ref,int} - \theta_{aval}\right) \quad (en\ \%) \qquad (1133)$$

Les valeurs de α_{th} et $\theta_{av,ref}$ sont données dans le tableau ci-dessous :

	$\alpha_{th,nom}$	$\theta_{av,ref,nom}$	$\alpha_{th,int}$	$\theta_{av,ref,int}$
Chaudière gaz ou fioul classique	0,04	70	0,05	40
Chaudière gaz ou fioul à condensation	0,2	70	0,2	33
Chaudière bois	0,0	70	0,0	70

Tableau 121: paramètres de calcul pour le rendement à pleine charge et charge intermédiaire

Les pertes thermiques en régime stabilisé sont connues pour un écart de 30°C entre l'eau chaude et l'air ambiant ($\phi_{thstab,30}$). Elles sont ramenées à l'écart de température effectif :

$$\phi_{thstab}(\theta_{aval}) = MAX\left[0{,}0\ ;\ Q\_po\_30.\left(\frac{\theta_{aval}-\theta_{amb}(h)}{30°C}\right)^{1,25}\right] \quad \text{(en W)} \qquad (1134)$$

8.19.3.3 *Service ECS*

8.19.3.3.1 Calcul de la quantité d'énergie fournie pour le service ECS

La première étape consiste à calculer de la quantité d'énergie fournie au pas de temps h pour le service ECS, qui intervient en premier dans le calcul à chaque pas de temps. Cette quantité d'énergie est plafonnée par la puissance maximale du générateur.

Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), le besoin $Q_{req,ECS}(h)$ est divisé par le nombre de générateur identique R_{dim} à cette étape :

$$Q_{fou,ECS}(h) = MIN\left(P_{th,nom,ecs}(h).\mathrm{t_h}; \frac{Q_{req,ECS}(h)}{\mathrm{R_{dim}}}\right) \text{ (en Wh)} \quad (1135)$$

Avec $P_{th,nom,ecs}(h)$ représente la puissance maximale calculée selon la relation ci-dessous à partir de la température aval propre au mode ECS :

$$P_{th,nom,ecs}(h) = 1000.\frac{R\_pn\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right)}{R\_pn}.\mathrm{P\_ngen} \quad (1136)$$

Et $\theta_{aval,cr\_ecs}(h)$ la température aval prenant en compte les limites de fonctionnement du générateur en ECS :

$$\theta_{aval,cr\_ecs}(h) = MAX\left(\theta_{aval,ecs}(h); \theta_{aval,min}\right) \quad (1137)$$

Calcul de la part d'énergie fournie pour le poste ECS (utilisée dans le cas double service) :

$$R_{fonct,ECS}(h) = \frac{Q_{fou,ECS}(h)}{P_{th,nom,ecs}(h).\mathrm{t_h}} \quad (1138)$$

Note : si $Q_{fou,ECS}(h)$ est nul, alors $R_{fonct,ECS}(h)$ l'est également.

Calcul de la quantité d'énergie restant $Q_{rest}(h)$ à fournir par la génération au pas de temps h :

$$Q_{rest,ECS}(h) = Q_{req,ECS}(h) - Q_{fou,ECS}(h) \quad \text{(en Wh)} \quad (1139)$$

8.19.3.3.2 Calcul des pertes thermiques à pleine charge et charge intermédiaire en ECS

On commence par calculer les pertes thermiques totales de la chaudière à la charge intermédiaire et à pleine charge, à partir des rendements corrigés selon les relations définies au §8.19.3.2.1.

Le calcul est détaillé ci-dessous avec l'exemple du poste ECS :

A charge intermédiaire :

$$P_{th,int,ecs}(h) = 1000.\frac{R\_pint\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right)}{R\_pint}.P\_int \quad (1140)$$

$$\phi_{\text{pertes,int,ecs}}(h) = \left(\frac{100\%}{R\_pint\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right)} - 1\right).P_{th,int,ecs}(h) \quad (1141)$$

A charge nominale :

$$\phi_{\text{pertes,nom}}(h) = \left(\frac{100\%}{R\_pn\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right)} - 1\right).P_{th,nom}(h) \quad (1142)$$

8.19.3.3.3 Calcul des pertes thermiques et de la puissance électrique absorbée au taux de charge effectif en ECS

Le calcul des pertes thermiques et de la puissance électrique absorbée est décliné en fonction de la valeur de la quantité d'énergie thermique par fournie la chaudière pour le poste ECS au pas de temps h pour le service considéré.

Si $Q_{fou,ecs}(h) = 0\ Wh$, la chaudière n'est pas sollicitée pour le poste ECS.

Si $i_{ECS\_seule}(h) = 1$, la chaudière est à l'arrêt au pas de temps h, et ses pertes et consommations d'auxiliaires à l'arrêt sont comptabilisées dans le poste ECS. Le calcul des pertes à l'arrêt dépend du dernier état en fonctionnement du générateur, qui est forcément le fonctionnement ECS du pas de temps précédent :

$$Q_{pertes,ecs}(h) = R_{fonct,ECS}(h-1).\phi_{thstab}\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h-1)\right).\mathrm{t_h} \quad (1143)$$

Et, par ailleurs :

$$Q_{cons,ecs}(h) = Q_{pertes,ecs}(h) \quad \textit{(en Wh)} \quad (1144)$$

$$W_{aux,ecs}(h) = P_{aux,veille}.t_h \quad (en\ Wh) \quad (1145)$$

Si $0 < Q_{fou,ecs}(h) \leq P_{th,int,ecs}(h).t_h$, alors la chaudière module sa puissance par des cycles tout ou rien :

$$Q_{pertes,ecs}(h) = \left(fx.\phi_{\text{pertes,int}}(h) + (1-fx).\phi_{th,stab}\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right)\right).\mathrm{t_h} \quad (1146)$$

(en Wh)

$$W_{aux,cecs}(h) = (fx.\mathrm{Waux\_min} + (1-fx).\mathrm{Wveille}).\mathrm{t_h}\ (en\ Wh) \quad (1147)$$

Avec fx, facteur d'interpolation :

$$fx = \frac{Q_{fou,ecs}(h)}{P_{th,int,ecs}(h).t_h} \quad (1148)$$

Si $P_{th,int,ecs}(h).t_h < Q_{fou,ecs}(h) \leq P_{th,nom,ecs}(h).t_h$, alors la chaudière est sur sa plage de modulation de puissance par variation de l'allure du brûleur :

$$Q_{pertes,ecs}(h) = \left(fx.\phi_{\text{pertes,nom}}(h) + (1-fx).\phi_{\text{pertes,int}}(h)\right).\text{t}_\text{h} \quad \textit{(en Wh)} \qquad (1149)$$

$$W_{aux\_ecs}(h) = (fx.\text{Waux\_min} + (1-fx).\text{Wveille}).\text{t}_\text{h} \ (en\ Wh) \qquad (1150)$$

Avec fx, facteur d'interpolation :

$$fx = \frac{Q_{fou,ecs}(h) - P_{th,int,ecs}(h).t_h}{\left(P_{th,nom,ecs}(h) - P_{th,int,ecs}(h)\right).t_h} \qquad (1151)$$

Calcul de la quantité d'énergie équivalente en combustible principal consommée par la chaudière, ramenée au Pouvoir Calorifique Inférieur :

$$Q_{cons,ecs}(h) = \frac{Q_{fou,ecs}(h) + Q_{pertes,ecs}(h)}{PCSI} \qquad (1152)$$

8.19.3.4 *Service chauffage*

8.19.3.4.1 Calcul de la quantité d'énergie fournie pour le service chauffage

La seconde étape consiste à calculer de la quantité d'énergie fournie au pas de temps h pour le service chauffage. Cette quantité d'énergie est plafonnée par la puissance maximale du générateur. Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), le besoin $Q_{req,CH}(h)$ est divisé par le nombre de générateur identique R_{dim} à cette étape :

$$Q_{fou,CH}(h) = MIN\left(R_{puisdispo}(h).P_{th,nom,ch}(h).\text{t}_\text{h}; \frac{Q_{req,CH}(h)}{\text{R}_\text{dim}}\right) \quad \text{(en Wh)} \qquad (1153)$$

$P_{th,nom,ch}(h)$ représente la puissance maximale calculée selon la relation ci-dessous à partir de la température aval propre au mode chauffage :

$$P_{th,nom,ch}(h) = 1000.\frac{R\_pn\left(\theta_{aval,cr\_ch}(h)\right)}{R\_pn}.\text{P\_ngen} \qquad (1154)$$

$R_{puis,dispo}$ est le ratio de puissance disponible pour le poste chauffage :

$$R_{puisdispo}(h) = 1{,}0 - R_{fonct,ecs}(h) \qquad (1155)$$

On calcule également le taux de charge relatif pour le poste chauffage :

$$\tau_{charge\_ch}(h) = \frac{Q_{fou,CH}(h)}{R_{puisdispo}(h).P_{max,ch}(h)} \qquad (1156)$$

Calcul de la quantité d'énergie restant $Q_{rest}(h)$ à fournir par la génération pour le poste chauffage au pas de temps h :

$$Q_{rest,CH}(h) = Q_{req,CH}(h) - Q_{fou,CH}(h) \quad \text{(en Wh)} \qquad (1157)$$

8.19.3.4.2 Calcul des pertes thermiques à pleine charge et charge intermédiaire en chauffage

Le calcul est identique à celui réalisé pour l'ECS au §8.19.3.3.2 (en remplaçant les indices *ecs* par *ch*).

8.19.3.4.3 Calcul des pertes thermiques et de la puissance électrique absorbée au taux de charge effectif en ECS

Le calcul des pertes thermiques et de la puissance électrique absorbée est décliné en fonction de la valeur de la quantité d'énergie thermique par fournie la chaudière pour le poste chauffage au pas de temps h pour le service considéré.

Si $Q_{fou,ch}(h) = 0\,Wh$, la chaudière n'est pas sollicitée pour le poste ECS.

Le calcul des pertes à l'arrêt dépend du dernier état en fonctionnement du générateur, qui est variable selon les pas de temps:

Si $R_{puisdispo}(h) < 1$ (le générateur a fonctionné en ECS au pas de temps actuel) :

$$Q_{pertes,ch}(h) = R_{puisdispo}(h).\phi_{thstab}\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h)\right).\mathrm{t_h} \qquad (1158)$$

Sinon si $Q_{fouch}(h-1)$ > 0 Wh (le générateur a fonctionné en dernier en chauffage au pas de temps précédent):

$$Q_{pertes,ch}(h) = R_{puisdispo}(h).\phi_{thstab}\left(\theta_{aval,cr\_ch}(h-1)\right).\mathrm{t_h} \qquad (1159)$$

Sinon, si $Q_{fouecs}(h-1)$ > 0 Wh (le générateur a fonctionné en dernier en ECS au pas de temps précédent) :

$$Q_{pertes,ch}(h) = R_{fonct,ecs}(h-1).\phi_{thstab}\left(\theta_{aval,cr\_ecs}(h-1)\right).\mathrm{t_h} \qquad (1160)$$

Sinon (le générateur n'a pas fonctionné ni au pas de temps h, ni au pas de temps h-1) :

$$Q_{pertes,ch}(h) = 0 \ \text{(Wh)} \qquad (1161)$$

Par ailleurs :

$$Q_{cons,ch}(h) = Q_{pertes,ch}(h) \quad \textit{(en Wh)} \qquad (1162)$$

$$W_{aux,ch}(h) = P_{aux,veille}.t_h \quad (en\ Wh) \qquad (1163)$$

Sinon, le reste du calcul identique à celui réalisé pour l'ECS au §8.19.3.3.3 (en remplaçant les indices *ecs* par *ch*).

8.19.3.5 *Sorties cumulées des postes chauffage et ECS*

A l'issue du calcul des services ECS et chauffage, des sorties communes sont produites :

$$Q_{fou}(h) = Q_{fou,CH}(h) + Q_{fou,ECS}(h) \quad \text{(en Wh)} \qquad (1164)$$

$$Q_{cons}(h) = Q_{cons,CH}(h) + Q_{cons,ECS}(h) \qquad (1165)$$

$$W_{auxpro}(h) = W_{aux,ecs}(h) + W_{aux,ch}(h) \qquad (1166)$$

$$Q_{pertes}(h) = Q_{pertes,ch}(h) + Q_{pertes,ecs}(h) \qquad (1167)$$

$$\tau_{charge}(h) = R_{fonctecs}(h) + R_{puisdispo}(h).\tau_{charge\_ch}(h) \qquad (1168)$$

$$P_{\max}\ (\mathrm{h}) = R_{fonctecs}(h).\mathrm{P_{max,ecs}(h)} + R_{puisdispo}(h).\mathrm{P_{max,ch}(h)} \qquad (1169)$$

Calcul du rendement effectif du générateur :

$$\eta_{eff}(h) = \frac{Q_{fou}(h)}{Q_{cons}(h)} \quad (1170)$$

Note : si $Q_{cons}(h)$ est nul, alors $\eta_{eff}(h)$ l'est également.
Allocation des consommations dans le tableau de consommations [$Q_{cef(po.;en.)}(h)$] par poste et par type d'énergie :

$$\begin{aligned} Q_{cef(ecs;id_{engen})}(h) &= Q_{cons,ecs}(h) \\ Q_{cef(ecs;élec.)}(h) &= W_{aux,pro,ecs}(h) \\ Q_{cef(ch;id_{engen})}(h) &= Q_{cons,ch}(h) \\ Q_{cef(ch;élec.)}(h) &= W_{aux,pro,ch}(h) \end{aligned} \quad (1171)$$

Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), l'ensemble des quantités d'énergie (Wh) listées en tant que sorties dans la nomenclature sont multipliées par R_{dim} à l'issue du calcul, à chaque pas de temps.

8.19.3.6 *Calcul des pertes thermiques recuperables*

Une partie des pertes et consommations d'auxiliaires du générateur peuvent donner lieu à des flux thermiques récupérables. Seules les pertes par les parois des générateurs sont considérées comme émise dans l'ambiance de la génération. Les pertes par les parois ne représentent pas la totalité des pertes à l'arrêt. A charge nulle, la part des pertes par les parois est noté $p_{\_Qp.g\_arret}$: sa valeur dépend des propriétés du générateur définies au travers de id_{pertes_parois}.

id_{pertes_parois}	Propriété du générateur associée	$p_{\_Qp.g\_arret}$
1	Absence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion	0,50
2	Présence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion	0,75
3	Présence de clapet sur le conduit de fumées	1

Tableau 122: pertes par les parois du générateur à l'arrêt en fonction des propriétés du générateur

Conventionnellement, pour les appareils gaz ou fioul, à charge non-nulle, on considère que les pertes par les parois représentent **30%** des pertes totales. Pour les chaudières bois, ce ratio est pris égal à **25%**. Si le générateur se trouve hors volume chauffé, le flux vers le volume chauffé est nul.

Propriétés du générateur associé	$p_{\_Qp.g\_fonct}$
Chaudières bois ($id_{\_type}$ =400)	0,25
Tout autre type de générateur	0,30

Tableau 123 : part des pertes par les parois du générateur en fonctionnement

Au final, les pertes thermiques récupérables sont les suivantes :

Si $Q_{fou}(h) > 0\ Wh$, alors,

$$\varphi_{vc}(h) = id_{posgen} \cdot \left(p_{Qpg,fonct} \cdot Q_{pertes}(h) + W_{aux,pro}(h)\right) \quad (Wh) \quad (1172)$$

Sinon,

$$\varphi_{vc}(h) = id_{posgen} \cdot \left(p_{Qpg,arret} \cdot Q_{pertes}(h) + W_{aux,pro}(h)\right)$$

Où id_{posgen} prend la valeur 1 si la chaudière est située en volume chauffé (0 sinon).
Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), $\varphi_{vc}(h)$ est multipliée par

R_{dim} à l'issue du calcul, à chaque pas de temps.

8.20 C_GEN_AUTRES_GENERATEURS_A_COMBUSTION

8.20.1 INTRODUCTION

Cette fiche permet de calculer les performances de certains générateurs à combustion :

- Puissance
- Puissance absorbée (ou débit calorifique sur PCI)
- Rendement sur PCI
- Puissance des auxiliaires
- Perte thermique récupérable dans l'ambiance

Les générateurs traités sont :

- Radiateurs gaz, poêles et inserts gaz, Pn< 5 kW ; Pn> 5 kW avec ou sans ventilateur
- Chauffe eau gaz : Pn< 10kW ; Pn> 10 kW
- Accumulateur gaz : standard ; condensation
- Générateur d'air chaud : standard ; condensation
- Tube radiant
- Panneau radiant

8.20.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 124 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
Gestion/régulation de la génération	$\theta_{aval,ECS}(h)$ $\theta_{aval,CH}(h)$	Température moyenne d'eau de chauffage ou ECS au pas de temps h	°C	-50	200	-
	$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve le générateur.	°C	-50	200	20
	$Q_{req,CH}(h)$ $Q_{req,ECS}(h)$	Quantité d'énergie thermique à fournir par le générateur au pas de temps h pour le poste chauffage ou ECS	Wh	0	+∞	-
	$id_{fonction}$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le Q_{req} (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multi-fonctions.	Ent	1	3	-
	R_{puis_dispo}	Temps de fonctionnement à charge maximale potentiellement disponible.	Réel	>0	1	1
	i_{ECS_seule}	Indicateur de production ECS seule.	Bool	0	1	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
R_{dim}	Ratio de dimensionnement du générateur.	Réel	0	+∞	1
$id_{raccord\_gnr}$	Type de raccordement des générateurs entre eux, pour un mode de gestion avec priorité : *0 : Permanent,* *1 : Avec isolement*	Ent	0	1	1
id_{pos_gen}	Position de la génération : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.*	Ent	0	1	1

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
Généraux	id_{type}	Type du générateur.	Ent	1	1000	Voir Tableau 116
	id_{fougen}	Fonction du générateur.	Ent	1	5	
	id_{engen}	Energie principale du générateur.	Ent	10	69	
	id_{fluide_aval}	Type de fluide caloporteur *1 : eau,* *2 : air ambiant*.	Ent	1	2	
Performances	P_{ngen}	Puissance utile nominale du générateur	kW	0	+∞	-
	θ_{fonct_max}	Température de fonctionnement maximale du générateur	°C	20	100	100
	θ_{fonct_min}	Température de fonctionnement minimale du générateur	°C	20	100	30

W_{veille}	Consommation électrique à charge nulle	Wh	0	+∞	-
$W_{aux,nom}$	Consommation électrique à la puissance nominale	Wh	0	+∞	-
Q_{po30}	Pertes à l'arrêt mesurées ou par défaut	Wh	0	+∞	-
R_{pn}	Rendement PCI à la puissance nominale	%	0	150	-
R_{pint}	Rendement PCI à la puissance intermédiaire	%	0	150	-
P_{int}	Puissance utile intermédiaire du générateur	kW	0	+∞	-
A	Coefficient de Rpn	-	0	100	
B	Coefficient de Rpn	-	0	10	
C	Coefficient de Rpint	-	0	100	
D	Coefficient de Rpint	-	0	10	
E	Coefficient de pertes à charge nulle	-	0	10	
F	Coefficient de pertes à charge nulle	-	-1	1	
G	Coefficient des puissances d'auxiliaires	-	0	100	
H	Coefficient des puissances d'auxiliaires	-	0	100	
id_{pertes_parois}	Indicateur pour la prise en compte des pertes par les parois à l'arrêt. Voir Tableau 122.	Ent	1	3	Voir Tableau 122 et Tableau 123
$p\_{Qp.g\_arret}$	Part des pertes par les parois du générateur à l'arrêt (conventionnel).	Réel	0	1	
$p\_{Qp.g\_fonct}$	Part des pertes par les parois du générateur en fonctionnement (conventionnel).	Réel	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
$\{Q_{cef(fonct.;en.)}\}$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh	0	+∞	-
Q_{cons}	Puissance effectivement consommée par le générateur.	Wh	0	+∞	-
Q_{fou}	Energie totale effectivement fournie par le générateur.	Wh	0	+∞	-
τ_{charge}	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel	0	1	-
$W_{aux,pro}$	Consommations d'auxiliaire propre au processus de génération.	Wh	0	+∞	-
η_{eff}	Rendement du générateur exprimé sous forme de réel.	Réel	0	10	-
Q_{rest}	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh	0	+∞	-
Φ_{vc}	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises vers l'ambiance.	Wh	0	+∞	-
$R_{fonctecs}$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS, à puissance maximale.	Réel	0	1	0
R_{pn}	Rendement sur PCI du générateur à	-	0	1.2	-

	100% de charge				
R_{pint}	Rendement sur PCI du génrateur à 30% de charge	-	0	1.2	-
P_{aux}	Puissance des auxiliaires (hors chaudières au gaz ou au fioul).	kW	0		-
QP_{30}	Pertes thermiques du générateur à charge nulle	W	0		-

Variables internes

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Déf
	θ_{aval_corr}	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération, corrigé selon la plage de fonctionnement du générateur	°C	20	200	-
	Q_{p0}	Pertes à charge nulle.	W	0	+∞	-
	Q_{p0prev}	Dernière valeur de pertes à l'arrêt calculée pour une température correspondant à un fonctionnement.	W	0	+∞	-
	Q_{pmini}	Pertes totales en charge intermédiaire.	W	0	+∞	-
	Q_{px}	Pertes totales au point de fonctionnement	W	0	+∞	-
	P_{max}	Puissance maximale que peut fournir le générateur dans les conditions de températures amont et aval	W	0	+∞	-
	$Q_{consact}$	Puissance effectivement consommée par le générateur.	Wh	0	+∞	-
	Q_{reqact}	Puissance requise au niveau du générateur, en tenant compte de R_{dim}.	Wh	0	+∞	-
	Q_{fouact}	Puissance fournie par un générateur, en tenant compte de R_{dim}.	Wh	0	+∞	-
	$\Phi_{threcact}$	Pertes thermiques effectives du générateur vers l'ambiance.	Wh	0	+∞	-
	W_{auxact}	Consommations électriques effectives des auxiliaires de génération.	Wh	0	+∞	-
	$\eta_{eff\_\%}$	Rendement du générateur exprimé en pourcentage	%	0	150	-
Indicateurs de fonctionnement	$id_{a\_fonctionne}(h)$	Indicateur de fonctionnement à charge non-nulle au pas de temps h : *0 : charge nulle,* *1 : fonctionnement en chauffage,* *2 : fonctionnement en refroidissement,* *3 : fonctionnement en ECS,*	Ent	0	3	0
	$id_{a\_fonctionne}(h\text{-}1)$	Indicateur de fonctionnement à charge non-nulle au pas de temps h-1.	Ent	0	3	0
	$R_{fonctecs}(h\text{-}1)$	Temps de fonctionnement de l'ECS à charge maximale au pas de temps h-1.	Réel	0	1	0
	Cce	Consommation conventionnelle d'entretien	kW	0	+∞	-
	PCSI	Ratio entre le pouvoir calorifique supérieur et le pouvoir calorifique inférieur (pour le gaz, le fioul, le bois)	-	1	2	-

a_{nom}	Facteur de correction du rendement en fonction de la température pour le rendement nominal.	-	0	1	
θ_{mes_nom}	Température à laquelle est défini le rendement nominal R_{pn}	°C	0	+∞	
a_{int}	Facteur de correction du rendement en fonction de la température pour le rendement intermédiaire	-	0	1	
θ_{mes_int}	Température à laquelle est défini le rendement intermédiaire R_{pint}	°C	0	+∞	
f_{maj}	Coefficient de majoration qui tient compte du fait que les radiateurs fonctionnent en moyenne à une puissance inférieure à leur puissance nominale	Réel	1	2	voir Tableau 130 et Tableau 131
R_{pn_teta}	Rendement à la puissance nominale à la température θ_{aval}	%	0	150	-
R_{pint_teta}	Rendement à la puissance intermédiaire à la température θ_{aval}	%	0	150	-
Fx	Coefficient intervenant dans les pertes thermiques	-	>0	1	-
$Q_{Parrêt}$	Coefficient intervenant dans les pertes thermiques	W	>0	1000	-

Tableau 124 : Nomenclature du modèle

8.20.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.20.3.1 ***Données générales***

Les générateurs à combustion intégrés dans cette fiche regroupent les générateurs suivants :

Type de générateur	id_{type}	id_{engen}	id_{fougen}	id_{fluide_aval}
Radiateurs gaz, poêles et inserts gaz Pn< 5 kW ; Pn> 5 kW avec ou sans ventilateur	103	10	1	2
Chauffe eau gaz : Pn< 10kW ; Pn> 10 kW	104	10	3	1
Accumulateur gaz : standard ; condensation	105	10	3	1
Générateur d'air chaud : standard ; condensation	106, 107	10	1	2
Tube radiant gaz	108	10	1	2
Panneau radiant gaz	109	10	1	2

Tableau 125: Liste des générateurs à combustion

Le ratio PCS/PCI est donné dans le tableau suivant :

Combustible	Id_{engen}	PCSI
Gaz naturel	10	1,11
GPL (Butane et Propane)	10	1,09
FOD	20	1,07

Tableau 126: Valeur du coefficient PCSI en fonction du type de combustible

8.20.3.2 *Plage de température de fonctionnement*

8.20.3.2.1 Température maximale de fonctionnement

La température maximale de fonctionnement est prise conventionnellement égale à 100°C pour tous les générateurs à combustion.

8.20.3.2.2 Température minimale de fonctionnement

Les générateurs à combustion sur eau (accumulateurs et chauffe eau) sont limités par leur température minimale de fonctionnement.

La valeur par défaut de cette température sera prise égale à 20°C.

A chaque pas de temps, si la température requise par la génération (θ_{aval}) est inférieure à la température minimale de fonctionnement (θ_{fonct_min}), le générateur fonctionne à la température minimale :

$$\theta_{\text{aval\_corr}} = MAX(\theta_{\text{aval}}; \theta_{\text{fonct\_min}}) \quad (1173)$$

8.20.3.3 *Cohérence de la saisie des rendements*

En préalables aux calculs, on vérifiera que la saisie des performances du générateur ne correspond pas à des rendements ramenés au PCS supérieurs à l'unité.

Quelque soit le type de générateur à combustion, le test de cohérence suivant est mené :

Si $\frac{MAX(R_{pn};R_{pint})}{PCSI} \geq 1$, alors,
Message d'erreur : « La saisie des performances du générateur à combustion conduit à des rendements sur PCS égaux ou supérieurs à l'unité ». (1174)

8.20.3.4 *Valeurs par défaut*

En l'absence de connaissances sur les produits, on utilisera les valeurs données dans les tableaux suivants ; il est possible, si on ne connaît que certaines valeurs pour un produit donné, d'utiliser ces valeurs et d'utiliser les valeurs par défaut pour les caractéristiques inconnues.

Les pénalités pour non-certification ne s'appliquent pas aux valeurs par défaut.

Pour les quatre variables ci-dessous les quatre tableaux suivants fournissent les valeurs à introduire dans les formules de calcul.

Pour les générateurs d'air chaud, ces équations sont valables pour une puissance nominale inférieure ou égale à 300 kW. On conservera les valeurs pour P_n = 300 kW si P_n > 300 kW

$R_{Pn} = A + B \,.\, \text{Log}\, P_n$ (%) (1175)

$R_{Pint} = C + D \,.\, \text{Log}\, P_n$ (%) (1176)

$Q_{p0} = P_n \,.\, (E + F \,.\, \text{Log}\, P_n)/100$ (kW) (1177)

$P_{aux} = G + H \,.\, P_n$ (W) (1178)

Où :

P_n est exprimée en kW

P_{aux} = puissance des auxiliaires de la génération (hors chaudières au gaz ou au fioul).

Libellé	R_{Pn}		R_{Pint}	
Ntype	A	B	C	D
Radiateurs gaz, poêles et insert gaz				
P_n < 5 kW	80			
P_n > = 5 kW sans ventilateur côté combustion	82			
P_n > = 5 kW avec ventilateur côté combustion	84			
Chauffe-eau gaz				
Chauffe-eau gaz < 10 kW	82			
Chauffe-eau gaz > 10 kW	84			
Accumulateurs gaz				
Accumulateur gaz	84			
Accumulateur gaz à condensation	98			
Générateurs d'air chaud gaz				
Standard	84		77	
Condensation	90		83	
Tubes et panneaux radiants gaz				
Tubes radiants	85			
Panneaux radiants	90			

Tableau 127: Rendements par défaut

Les cases en grisé correspondent à des produits pour lesquels ces valeurs ne sont pas nécessaires.

Autres générateurs		
Générateurs d'air chaud	1,75	-0,55
Accumulateurs gaz appareils de plus de 200l avec temps démontée en température <45 mn	1,7	0
Autres accumulateurs gaz	1,5	0
Chauffe-eaux gaz	1,5	0

Tableau 128: Pertes à charge nulle par défaut

Générateurs d'air chaud		
Sans ventilateur côté émission	0	4
Avec ventilateur côté émission	0	54
Tubes radiants		
Avec ventilateur côté émission	0	54
Radiateurs gaz, poêles et inserts gaz		
Par ventilateur (on compte séparément les ventilateurs côté combustion et côté émission)	40	0
Chauffe eau gaz	0	0
Accumulateurs gaz	0	0

Tableau 129: Puissances d'auxiliaires par défaut

Lorsqu'il existe un dispositif d'allumage par veilleuse, la consommation de veille à charge nulle est égale à la consommation de veille à laquelle est ajoutée la consommation de la veilleuse / 2,58.

8.20.3.4.1 Indicateur de fonctionnement du générateur

Cet indicateur permet de situer l'état du générateur au pas de temps actuel, afin d'en déduire ses pertes à l'arrêt au pas de temps suivant.

Il est initialisé à une valeur nulle à chaque début de pas de temps :

$$id_{a\_fonctionne}(h) = 0 \quad (1179)$$

Lors de l'appel du générateur à combustion, il n'évolue que si la demande pour ce dernier est non-nulle. Il prend alors la valeur correspondant au dernier poste assuré (chauffage ou ECS).

Si $Q_{req} \neq 0$ *(Wh),* alors,

$$id_{a\_fonctionne}(h) = id_{fonction} \quad (1180)$$

8.20.3.5 *Pertes à charge nulle des générateurs*

8.20.3.5.1 Générateurs d'air chaud, accumulateurs gaz, et chauffe-eaux gaz

Les pertes à charge nulle sont connues pour un écart de 30°C entre l'eau chaude et l'air ambiant (Q_{po30}). Elles sont ramenées à l'écart de température effectif :

$$Q_{P0} = \frac{100 * Q_{PO30}}{R_{pn}} \cdot \left(\frac{MAX(0; \theta_{aval\_corr} - \theta_{amb}(h))}{30} \right)^{1,25} \quad (Wh) \quad (1181)$$

8.20.3.5.2 Radiateurs gaz, poêles et inserts gaz, tubes et panneaux radiants gaz (id_{type} =103, 108, 109)

Il n'y a pas de pertes à charge nulle pour ces types de générateurs :

$$Q_{P0} = 0 \ (Wh) \quad (1182)$$

8.20.3.6 *Fonctionnement en chauffage ($id_{fonction} = 1$ et $Q_{req} > 0$)*

L'objectif de ce paragraphe est de déterminer la performance des générateurs considérés, au point de fonctionnement. Ce point de fonctionnement est déterminé pour un générateur et un combustible donnés, par la température moyenne et les besoins demandés aux bornes du générateur.

8.20.3.6.1 Générateurs d'air chaud (id_{type} = 106, 107)

8.20.3.6.1.1 Rendement à charge intermédiaire et à pleine charge pour un générateur d'air chaud

Pour les générateurs d'air chaud, la méthode de calcul offre quatre alternatives dans la définition des valeurs de rendement :

- La saisie directe de la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base de la norme NF EN 17082.

- La saisie de la valeur justifiée, diminuée de 10 %, par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris

dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme NF EN 17082.

- Pour la valeur déclarée, la valeur utilisée dans le calcul est égale à :

  Rendement à pleine charge :

  $R_{pn} = Min\ (0{,}8 \times R_{pndecl}\ ,\ R_{pn\ utile\ max})$ (1183)

  R_{pndecl} étant la valeur déclarée par le fabricant, et $R_{pn\ utile\ max}$ étant égale à 86%.

  Rendement à charge partielle :

  $R_{p\ int} = Min\ (0.8 \times R_{pint\ decl}\ ,\ R_{pint\ utile\ max})$, (1184)

  $R_{pintdecl}$ étant la valeur déclarée par le fabricant, et $R_{pint\ utile\ max}$ étant égale à 81%.

- Par défaut, les valeurs indiquées dans le paragraphe 8.20.3.4 sont retenues.

Ils ne sont pas modifiés en fonction de la température aval.

8.20.3.6.1.2 Puissance maximale d'un générateur d'air chaud

La puissance maximale est la suivante :

$$P_{max} = P_{ngen} \times 1000\ (W) \quad (1185)$$

8.20.3.6.1.3 Calcul de l'énergie fournie par le générateur d'air chaud

Le calcul est identique à celui des chaudières fioul ou gaz (voir fiche dédiée).

8.20.3.6.1.4 Pertes et rendement réel d'un générateur d'air chaud

Les pertes sont calculées de la même façon que pour une chaudière gaz ou fioul (voir fiche dédiée).

8.20.3.6.2 Radiateurs gaz, poêles et inserts gaz, tubes et panneaux radiants gaz (id_{type} =103, 108, 109)

8.20.3.6.2.1 Rendement à pleine charge

Pour ce type de générateur, le rendement n'est connu qu'à pleine charge.

Pour les radiateurs gaz, poêles et inserts gaz, tubes et panneaux radiants gaz, la méthode de calcul offre quatre alternatives dans la définition des valeurs de rendement :

- La saisie directe de la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes harmonisées EN613, EN1266, EN416, EN419, EN 17175, EN15316-4.8.
- La saisie de la valeur justifiée, diminuée de 10 %, par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes harmonisées EN613, EN1266, EN416, EN419, EN 17175, EN15316-4.8.

- Pour la valeur déclarée, la valeur utilisée dans le calcul est égale à :

R_{pn} = Min (0,8 x R_{pndecl} , $R_{pn\ utile\ max}$) (1186)

R_{pndecl} étant la valeur déclarée par le fabricant, et $R_{pn\ utile\ max}$ étant égale à 86%.

- Par défaut, les valeurs indiquées dans le paragraphe 8.20.3.4 sont retenues.

Il n'est pas modifié en fonction de la température aval.

8.20.3.6.2.2 Puissance maximale

La puissance maximale est la suivante :

$$P_{max} = P_{ngen} \times 1000\ (W) \quad (1187)$$

8.20.3.6.2.3 Calcul de l'énergie fournie par le générateur

Le calcul est identique à celui des chaudières fioul ou gaz (voir fiche dédiée).

8.20.3.6.2.4 Pertes et rendement réel

Il n'ya a pas de décomposition du calcul selon la charge.

Les pertes s'expriment par la formule suivante :

$$Q_{Px} = f_{maj} \cdot \left(100 - \frac{R_{Pn}}{PCSI}\right) \cdot \frac{Q_{fouact} PCSI}{R_{Pn}}\ (W) \quad (1188)$$

Où :

f_{maj} est un coefficient de majoration qui tient compte du fait que les radiateurs fonctionnent en moyenne à une puissance inférieure à leur puissance nominale. Cette majoration est liée aux pertes par balayage et à la diminution du rendement de combustion.

Pour les radiateurs gaz, poêles et inserts gaz, il est donné en fonction de la présence ou non d'un ventilateur de combustion et du mode d'évacuation des fumées :

Ventilateur côté combustion	Évacuation des fumées	f_{maj}
Oui	Tout type	1,02
Non	Par micro-ventouse	1,04
Non	Par une cheminée	1,06

Tableau 130: Coefficient de majoration des pertes pour les radiateurs gaz, poêles et inserts gaz,

Pour les tubes et panneaux rayonnants, il est donné dans le en fonction de la présence ou non d'un ventilateur de combustion et du mode d'évacuation des fumées :

Type de générateur	f_{maj}
Panneaux radiants	1,00
Tubes radiants	1,06

Tableau 131: Coefficient de majoration des pertes pour les générateurs radiants.

Le rendement se déduit dans tous les cas du calcul des pertes, lui-même fonction du rendement à pleine charge :

$$\eta eff\_\% = \frac{Q_{\text{fouact}}}{Q_{\text{fouact}} + Q_{Px}} \times 100 \times \text{PCSI} \quad (\%) \quad (1189)$$

8.20.3.6.3 Débit calorifique sur PCI

Pour l'ensemble des générateurs, le débit calorifique sur PCI au point de fonctionnement est donné par :

$$Q_{consact} = \frac{Q_{fouact}}{\eta_{eff\_\%}} \times 100 \ (Wh) \qquad (1190)$$

Ce débit calorifique correspond à la consommation énergétique en mode chauffage au pas de temps considéré.

8.20.3.6.4 Consommations des auxiliaires de génération $W_{aux,pro}$

Le calcul des auxiliaires de génération est commun à tous les types de générateurs.

Ne sont considérés comme auxiliaires propres que les auxiliaires nécessaires à la génération (exemple : ventilateur de combustion, pompes fioul, ventilateur d'extraction, etc). Les pompes de circulation, même si elles servent aussi à maintenir un débit nominal dans le générateur, sont prises en compte dans le calcul des pertes de distribution.

La consommation minimale est la consommation de veille à charge nulle, et elle est considérée proportionnelle à la puissance utile:

$$W_{auxact} = R_{puis\_dispo} \times [\tau_{charge} \times (W_{aux,nom} - W_{veille}) + W_{veille}] \ (Wh) \qquad (1191)$$

Des valeurs par défaut de puissances sont données dans le paragraphe 8.20.3.4.

8.20.3.7 *Fonctionnement en ECS ($id_{fonction} = 3$ et $Q_{req} > 0$)*

Pour un générateur à combustion, on considère que la demande en ECS est prioritaire sur celle en chauffage. Le générateur est de ce fait appelé en premier lieu en ECS avant d'en déduite l'énergie disponible pour le chauffage.

On considère une production d'ECS intermittente : le générateur fonctionne à pleine charge sur un temps de fonctionnement $R_{fonctecs}$ inférieur ou égal à l'heure.

8.20.3.7.1 Rendement et puissance maximale

En fonctionnement intermittent, le rendement utilisé est le rendement à pleine charge :

- **Pour les accumulateurs gaz ou les chauffe-eau gaz**, on retient le rendement R_{pn}. La méthode de calcul offre deux alternatives dans la définition des valeurs de rendement :
    - La saisie directe de la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes harmonisées EN89, EN26.
    - Par défaut, les valeurs indiquées dans le paragraphe 8.20.3.4 sont retenues.

$$\eta_{eff\_\%} = R_{pn} \ (\%) \qquad (1192)$$

$$P_{max} = P_{ngen} \ (W) \qquad (1193)$$

8.20.3.7.2 Calcul de l'énergie fournie par le générateur

On définit la demande en énergie associée à un des générateurs de l'ensemble de R_{dim} générateurs identiques :

$$Q_{reqact} = \frac{Q_{req}}{R_{dim}} \quad (Wh) \qquad (1194)$$

L'énergie fournie dépend du ratio de puissance disponible, dépendant d'un éventuel fonctionnement en ECS au pas de temps actuel :

$$Q_{fouact} = MIN(Q_{reqact}, P_{max}) \quad (Wh) \qquad (1195)$$

Le taux de charge du générateur est calculé de la manière suivant :

$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fouact}}{P_{max}} \quad (-) \qquad (1196)$$

8.20.3.7.3 Temps de fonctionnement en ECS

L'appareil fonctionne à puissance maximale P_{max} pendant une durée $R_{fonctecs}$, égale au taux de charge du générateur.

$$R_{fonctecs} = \tau_{charge} \quad (-) \qquad (1197)$$

8.20.3.7.4 Pertes du générateur

Les pertes du générateur pendant son temps de fonctionnement sont les pertes à pleine charge.

Les pertes à l'arrêt sont calculées de la même manière que pour les différents générateurs en chauffage (voir 8.20.3.5 ou 8.20.3.8).

Les pertes totales sont donc les suivantes :

$$Q_{PX} = (100 - \frac{\eta_{eff\_\%}}{PCSI}) \times \frac{Q_{fouact} \times PCSI}{\eta_{eff\_\%}} + id_{ECS\_seule} \cdot (1 - R_{fonctecs}) \cdot Q_{P0} \qquad (1198)$$

8.20.3.7.5 Consommation du générateur en ECS

La consommation d'énergie du générateur est la somme de l'énergie fournie et des pertes totales :

$$Q_{consact} = \frac{Q_{fouact}}{\eta_{eff\_\%}} + id_{ECS\_seule} \cdot (1 - R_{fonctecs}) \cdot Q_{P0} \quad (Wh) \qquad (1199)$$

8.20.3.7.6 Consommations d'auxiliaires

La consommation des auxiliaires correspond à un fonctionnement nominal au prorata de la demande :

$$W_{auxact} = R_{fonctecs} \times W_{aux,nom} + id_{ECS\_seule} \cdot (1 - R_{fonctecs}) \cdot W_{veille} \quad (Wh) \qquad (1200)$$

8.20.3.8 *Générateur à l'arrêt (Q_{req} = 0 Wh)*

Les pertes et consommations du générateur à l'arrêt dépendent du fonctionnement au pas de temps précédent.

$Q_{fouact} = 0$ *(Wh)* (1201)

$Q_{rest} = 0$ *(Wh)* (1202)

$\tau_{charge} = 0$ *(Wh)* (1203)

8.20.3.8.1 Pertes et consommations à l'arrêt en chauffage

Le générateur peut présenter des pertes au cours des pas de temps d'arrêt s'il est connecté de manière permanente à sa génération (cas avec priorité). Dans tous les cas, on considère qu'il a des pertes sur le pas de temps complet suivant l'arrêt. Pour respecter le fait que ces pertes (correspondant à l'énergie nécessaire pour monter la chaudière en température) se sont traduites par une consommation à un moment donnée, les pertes donnent lieu à une consommation $Q_{consact}$ non-nulle.

- Cas d'un générateur raccordé en permanence à la génération (gestion avec priorité uniquement) : $id_{raccord\_gnr} = 0$

  Si $id_{a\_fonctionne}(h-1) > 0$ ou $R_{puis\_dispo} < 1$,
  alors,

  $Q_{PX} = R_{puis\_dispo} . MAX(Q_{P0}; Q_{P0_{prev}})$ *(Wh)* *(Wh)* (1204)

  Sinon,

  $Q_{PX} = R_{puis\_dispo} . Q_{P0}$

  $Q_{consact} = Q_{PX}$ *(Wh)* (1205)

  $\eta_{eff\_\%} = 0$ *(Wh)* (1206)

- Cas d'un générateur isolé hydrauliquement de la génération: $id_{raccord\_gnr} = 1$ *: le générateur n'a de pertes que si il a fonctionné au pas de temps précédent, ou au pas de temps actuel en ECS* ($R_{puis\_dispo} < 1$).

  Si $id_{a\_fonctionne}(h-1) = 1$ ou $R_{puis\_dispo} < 1$, alors,

  $Q_{PX} = R_{puis\_dispo} . Q_{P0prev}$ *(Wh)*

  Sinon, si $id_{a\_fonctionne}(h-1) = 3$, alors, (1207)

  $Q_{PX} = R_{fonctecs}(h-1) . Q_{P0prev}$ *(Wh)*

  Sinon,

  $Q_{PX} = 0$ *(Wh)*

  $Q_{consact} = Q_{PX}$ *(Wh)* (1208)

  $\eta_{eff\_\%} = 0$ (1209)

La consommation d'auxiliaires est quant à elle égale à la consommation en mode veille et ce dans tous les cas :

$W_{auxact} = R_{puis\_dispo} . W_{veille}$ *(Wh)* (1210)

8.20.3.8.2 Pertes, consommations et auxiliaires à l'arrêt en ECS

Le générateur peut présenter des pertes au cours des pas de temps d'arrêt s'il est connecté de manière permanente à sa génération (cas avec priorité). Dans le cas d'un générateur mixte

chauffage/ECS, les pertes à l'arrêt ne sont comptabilisées qu'en chauffage sur la saison de chauffe. En dehors de cette dernière, elles sont comptabilisées en ECS.

- Cas d'un générateur raccordé en permanence à la génération (gestion avec priorité uniquement) : $id_{raccord\_gnr} = 0$

Si i_{ECS_seule} *=1, alors,*

Si $id_{a\_fonctionne}(h-1) > 0$, alors,

$$Q_{\mathrm{PX}} = MAX(Q_{\mathrm{P0}};Q_{\mathrm{P0}_{prev}}) \text{ (Wh)}$$

Sinon,

$$Q_{\mathrm{PX}} = Q_{\mathrm{P0}}$$

$$Q_{\mathrm{consact}} = Q_{\mathrm{PX}} \quad \text{(Wh)} \qquad (1211)$$

$$\eta_{eff\_\%} = 0 \quad \text{(Wh)} \qquad (1212)$$

$$(1213)$$

- Cas d'un générateur isolé hydrauliquement de la génération: $id_{raccord\_gnr} = 1$ *: le générateurs n'a de pertes que si il a fonctionné au pas de temps précédent, ou au pas de temps actuel en ECS* ($R_{puis\_dispo} < 1$).

Si i_{ECS_seule} *=1, alors,*

Si $id_{a\_fonctionne}(h-1) > 0$, alors,

$$Q_{\mathrm{PX}} = R_{fonctecs}(h-1).Q_{\mathrm{P0}_{prev}} \text{ (Wh)} \qquad (1214)$$

Sinon,

$$Q_{\mathrm{PX}} = 0 \text{ (Wh)}$$

$$Q_{\mathrm{consact}} = Q_{\mathrm{PX}} \text{ (Wh)} \qquad (1215)$$

$$\eta_{eff\_\%} = 0 \qquad (1216)$$

La consommation d'auxiliaires est quant à elle égale à la consommation en mode veille. Elle n'est calculée que pour un générateur ne faisant que l'ECS (ou mixte hors période de chauffage). Pour les générateurs mixtes en période de chauffage, elle est comptabilisée sur le poste chauffage.

Si i_{ECS_seule} *=1, alors,*

$$W_{auxact} = W_{\mathrm{veille}} \quad \text{(Wh)} \qquad (1217)$$

8.20.3.9 *Calcul des flux thermiques vers l'ambiance chauffé*

Une partie des pertes et consommations d'auxiliaires du générateur peuvent donner lieu à des flux thermiques récupérables. Seules les pertes par les parois des générateurs sont considérées comme émise dans l'ambiance de la génération. Les pertes par les parois ne représentent pas la totalité des pertes à l'arrêt. A charge nulle, la part des pertes par les parois est noté $p\_{Qp.g\_arret}$: sa valeur dépend des propriétés du générateur définies au travers de id_{pertes_parois}.

id_{pertes_parois}	Propriété du générateur associée	$p\_{Qp.g\_arret}$
1	Absence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le	0,50

	circuit de combustion	
2	Présence de ventilateur ou autre dispositif de circulation d'air ou de produit de combustion dans le circuit de combustion	0,75
3	Présence de clapet sur le conduit de fumées	1

Tableau 132: pertes par les parois du générateur à l'arrêt en fonction des propriétés du générateur

Conventionnellement, pour les appareils gaz ou fioul, à charge non-nulle, on considère que les pertes par les parois représentent **30%** des pertes totales. Pour les chaudières bois, ce ratio est pris égal à **25%**. Si le générateur se trouve hors volume chauffé, le flux vers le volume chauffé est nul.

Propriétés du générateur associé	$p\_{Qp.g\_fonct}$
Chaudières bois ($id_{\_type}$ =400)	0,25
Tout autre type de générateur	0,30

Tableau 133 : part des pertes par les parois du générateur en fonctionnement

Au final, pour un générateur :

Si $id_{a\_fonctionne}(h) > 0$, alors,

$$\varphi_{threact} = id_{pos\_gen} \times (Q_{PX} \times p_{\_Qp\_g\_fonct} + W_{auxact}) \quad (Wh) \qquad (1218)$$

Sinon,

$$\varphi_{threact} = id_{pos\_gen} \times (Q_{PX} \times p_{\_Qp\_g\_arret} + W_{auxact})$$

8.20.3.10 *Calcul du Q_{p0prev}*

Si $Q_{req} > 0$, alors,

$$Q_{\mathrm{P0prev}} = Q_{\mathrm{P0}} \qquad (1219)$$

8.20.3.11 *Calcul des sorties*

La consommation en énergie finale du générateur est insérée dans la case correspondant à l'usage (chauffage, refroidissement et/ou ECS) et au type d'énergie.

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 134: Matrice des consommations en énergies finales {$Q_{cef\ (po;én)}$ (h)}

La consommation totale dans le cas d'un ensemble de générateurs identiques est :

$$Q_{cons} = Q_{consact} \times R_{dim} \ (Wh) \qquad (1220)$$

$$W_{aux,pro} = W_{auxact} \times R_{dim} \qquad (1221)$$

$Q_{cef(idfonction;id\_engen)} = Q_{cons}$

Puis, faire : (1222)

$Q_{cef(idfonction;50)} = Q_{cef(idfonction;50)} + W_{aux,pro}$

L'énergie totale fournie par l'ensemble des générateurs identiques est :

$$Q_{fou} = Q_{fousact} \times R_{dim} \quad (Wh) \qquad (1223)$$

Les pertes thermiques vers l'ambiance sont ramenées au nombre total de générateurs à combustion identiques :

$$\Phi_{vc} = R_{dim} \times \Phi_{t\square react} \quad (Wh) \qquad (1224)$$

L'énergie restant à fournir est la suivante:

$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{fou} \quad (Wh) \qquad (1225)$$

Pour finir, le rendement du générateur est converti en réel :

$$\eta_{eff} = \frac{\eta_{eff\_\%}}{100} \quad (-) \qquad (1226)$$

8.21 C_GEN_système de cogénération

8.21.1 INTRODUCTION

Dans la présente fiche, on réalise la description du comportement des générateurs de cogénération intégrés au bâtiment, désignées sous l'acronyme CHP.

La fiche concerne tous les cogénérateurs de débit calorifique (consommation d'énergie associée au combustible) inférieur à 70kW et puissance électrique générée nominale inférieur à 50 kW, appartenant aux technologies suivantes :

- Moteur à combustion interne,
- Moteur Stirling,
- Micro-turbine.

Les unités basées sur des piles à combustible sont exclues du champ d'application de la fiche.

A l'instar des autres fiches décrivant le fonctionnement des générateurs, elle regroupe les informations relatives aux calculs des rendements, des pertes thermiques, des puissances absorbées, de la consommation des auxiliaires et de la production d'électricité.

L'algorithme se base sur des lois d'interpolation linéaire entre les points de fonctionnement connus de l'unité de cogénération.

8.21.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 135 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche. Dans toute la suite du document, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{aval,ECS}(h)$ $\theta_{aval,CH}(h)$	Température moyenne d'eau de chauffage ou ECS au pas de temps h	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve le générateur.	°C
$Q_{req,CH}(h)$ $Q_{req,ECS}(h)$	Quantité d'énergie thermique à fournir par le générateur au pas de temps h pour le poste chauffage ou ECS	Wh
$i_{ECS\_seule}(h)$	Indicateur de production ECS seule au pas de temps h	Bool

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max
R_{dim}	Nombre de générateurs identiques raccordés en parallèle	Ent	1	+∞
$id_{raccord\_gnr}$	Type de raccordement hydraulique des *générateurs composant la génération :* *0 : Permanent,* *1 : Avec isolement possible*	Ent	0	1

	id_{pos_gen}	Position de la génération : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.*	Ent	0	1	

Paramètres utilisateurs

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Valeur par défaut ?
Généralités	id_{fougen}	Fonction du générateur *1 : chauffage seul,* *3 : ECS seule,* *4 : chauffage et ECS*	Ent	1	6	Non
	$type_{\_combustible}$	Type de combustible du générateur : *0 : gaz naturel,* *1 : GPL,* *2 : fioul domestique* *3 : bois bûches* *4 : bois granulés* *5 : bois plaquettes*	Ent	0	5	Non
	$ind\_{condensation}$	Indicateur de micro-cogénérateur à condensation : *0 : micro-cogénérateur standard* *1 : micro-cogénérateur à condensation*	Ent	0	1	Oui
	$type\_{chp}$	Type de micro-cogénérateur : *0 : moteur à combustion interne,* *1 : moteur Stirling,* *2 : micro-turbine*	Ent	0	2	Non
	id_{app_inte}	Présence d'un appoint intégré de type brûleur : *0 : Non* *1 : Oui*	Bool	0	1	Non
Cogénérateur et appoint intégré	$P_{th;chp\_100+sup\_100,nom}$	Puissance thermique nominale, à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré	kW	0	70	Non
	$type\_valeur\_Pw_{aux,chp\_100+sup\_100}$	Statut de la donnée de puissance thermique nominale, à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré (désignée aussi par « à pleine charge ») : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur mesurée	Ent	0	1	Non
	$Statut\_chp100sup100$	Statut des données de rendements thermique et de production électrique sur PCS du générateur à à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur déclarée 2 : Valeur justifiée 3 : Valeur certifiée	Ent	0	3	Non
	$Pw_{aux,chp\_100+sup\_100}$	Puissance électrique absorbée par les auxiliaires à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré (désignée aussi par « à pleine charge »)	kW	0	+∞	Oui

	$\eta_{th;chp\_100+sup\_100,nom}$	Rendement thermique sur PCS du générateur à à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré (si toutes valeurs autres que par défaut)	%	0	100	Oui
	$\eta_{el;chp\_100+sup\_100,nom}$	Rendement de production électrique sur PCS du générateur à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré (si toutes valeurs autres que par défaut)	%	0	100	Oui
	$P_{th;chp\_100+sup\_0\ ,nom}$	Puissance thermique nominale, à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré	kW	0	70	Non
	Statut _chp100sup0	Statut des données de rendements thermique et de production électrique sur PCS, et de puissance électriques d'auxiliaires absorbées, à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur déclarée 2 : Valeur justifiée 3 : Valeur certifiée	Ent	0	3	Non
	$Pw_{aux,chp\_100+sup\_0}$	Puissance électrique absorbée par les auxiliaires à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré (désignée aussi par « à charge partielle ») (si valeur mesurée)	kW	0	+∞	Oui
	$\eta_{th;chp\_100+sup\_0,nom}$	Rendement thermique sur PCS du générateur à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré (si toutes valeurs autres que par défaut)	%	0	100	Oui
	$\eta_{el;chp\_100+sup\_0,nom}$	Rendement de production électrique sur PCS du générateur à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré (si toutes valeurs autres que par défaut)	%	0	100	Oui
Cogénérateur seul	*Statut_Pth_chp_min*	Statut de la donnée de puissance thermique minimale de fonctionnement stabilisé du générateur CHP : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur mesurée	Ent	0	1	Non
	P_{th,chp_min}	Puissance thermique minimale de fonctionnement stabilisé du générateur CHP (si valeur mesurée)	kW	0	70	Oui
	Statut_Phi_th_stab_30	Statut de la donnée de pertes thermiques en régime stabilisé de l'appareil ($\phi_{th,stab,30}$) : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur mesurée	Ent	0	1	Non
	$\phi_{th,stab,30}$	Pertes thermiques en régime stabilisé de l'appareil pour une température moyenne d'eau de 50°C et une température ambiante de 20°C (si valeur mesurée)	W	0	+∞	Oui
	Statut_Pw_aux_veille	Statut de la donnée de puissance électrique absorbée en mode veille ($Pw_{aux,veille}$) : 0 : Valeur par défaut 1 : Valeur mesurée	Ent	0	1	Non
A l'arrêt	$Pw_{aux,veille}$	Puissance électrique absorbée par les auxiliaires en mode veille	W	0	+∞	Oui

Paramètres conventionnels

Nom	Description	Unité	Conv.
id_{engen}	Indicateur relatif à l'énergie principale du générateur.	ent	*Voir Tableau 137*

$PCSI$	Valeur de PCSI adoptée pour le calcul	réel	*Voir Tableau 137*
α_{th} α_{el}	Coefficients de correction du rendement thermique et électrique en fonction de la température aval	réel	Voir Tableau 138
$\theta_{av,ref,chp100+sup0}$	Température aval de référence pour la définition des rendements à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré	°C	Voir Tableau 138
$\theta_{av,ref,chp100+sup100}$	Température aval de référence pour la définition des rendements à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré	°C	Voir Tableau 138
f_{pa}	Fraction des pertes du générateur corrrespondant à un échange thermique avec l'ambiance dans lequel il se situe	réel	0,3

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef(fo.;en.)}\}(h)$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh
$Q_{cons}(h)$	Quantité d'énergie totale consommée par le générateur pour le type d'énergie principal	Wh
$Q_{fou,ch}(h)$ $Q_{fou,ecs}(h)$	Quantité d'énergie totale effectivement fournie par le générateur en chauffage et ECS	Wh
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel
$W_{aux,pro}(h)$	Consommations d'auxiliaire propre au processus de génération.	Wh
$\eta_{eff}(h)$	Rendement du générateur exprimé sous forme de réel.	Réel
$Q_{rest}(h)$	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh
$\Phi_{vc}(h)$	Quantité d'énergie échangée entre le générateur et l'ambiance dans lequel il est placé.	Wh
$R_{fonctecs}(h)$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS, à puissance maximale.	Réel
$Q_{prelec}(h)$	Energie électrique produite pas l'ensemble des générateurs identiques.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité

P_{ngen}	Puissance utile nominale du système de cogénération, appoint intégré inclus	W
$\theta_{aval}(h)$	Température moyenne d'eau aval au pas de temps h	°C
$P_{max,ch}(h)$ $P_{max,ecs}(h)$	Puissance maximale du générateur au pas de temps h pour les services chauffage et ECS	W
$P_{max,chp}(h)$ $P_{min,chp}(h)$	Puissance minimale et maximale du générateur sans recourt au brûleur d'appoint au pas de temps h	W
$\tau_{charge\_ch}(h)$	Taux de charge du générateur pour le service chauffage	Réel
$R_{puis,dispo}(h)$	Ratio de puissance disponible pour le poste chauffage	Réel
$Q_{pertes}(h)$	Quantité d'énergie perdue par l'enveloppe du micro-cogénérateur et dans les fumées	Wh
$Q_{req}(h)$	Quantité d'énergie à fournir totale, tout poste confondu	Wh
$Q_{fou}(h)$	Quantité d'énergie fournie totale, tout poste confondu	Wh
$\phi_{th,stab}(h)$	Pertes thermiques en régime stabilisé de l'appareil ramenée à la température aval	W
$\Phi_{pertes,chpmin}(h)$	Pertes thermiques du micro-cogénérateur au taux de charge correspondant à $P_{chp,min}$	W
$\Phi_{pertes,chp100+sup0}(h)$	Pertes thermiques du micro-cogénérateur à 100% de charge du module CHP et 0% de charge du brûleur d'appoint	W
$\Phi_{pertes,chp100+sup100}(h)$	Pertes thermiques du micro-cogénérateur à 100% de charge du module CHP et 100% de charge du brûleur d'appoint	W
fx	Facteur d'interpolation	Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Valeur
$PCSI\{type\_combustible\}$	Ratio du PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur) sur le PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur)	Réel	Voir *Tableau 137*
t_h	Durée d'un pas de temps de simulation	h	1

Tableau 136 : Nomenclature du modèle

8.21.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.21.3.1 ***Informations générales et pré-processeurs***

8.21.3.1.1 Prise en compte du type de combustible

Le type de combustible de l'unité de cogénération et son appoint (supposé commun aux deux) est défini au travers du paramètre $type_{\_combustible}$:

Combustible (*$type_{\_combustible}$*)	***Id_{engen}***	***PCSI***
1 : Gaz naturel	10	1,11
2 : GPL (Butane et Propane)	10	1,09
3 : FOD	20	1,07
4 : Bois bûche	40	1,08
5 : Bois granulés	40	1,08
6 : Bois plaquettes	40	1,08

Tableau 137: Valeur du coefficient PCSI en fonction du type de combustible

La valeur adoptée pour le coefficient PCSI du bois correspond aux caractéristiques suivantes : 15% d'humidité et avec une teneur en hydrogène moyen de 6%.

8.21.3.1.2 Prise en compte de la technologie de micro-cogénérateur

	Micro-cogénérateur standard $ind_{\_condensation} = 0$	***Micro-cogénérateur à condensation*** $ind_{\_condensation} = 1$
α_{th}	0,04	0,2
α_{el}	0	0
$\theta_{av,ref,chp100+sup0}$	**53,5°C** (régime 47/60°C)	**35°C** (régime 30/40°C)
$\theta_{av,ref,chp100+sup100}$	**70°C** (régime 60/80°C)	**50°C** (régime 40/60°C)

Tableau 138: paramètres micro-cogénérateur standard et à condensation

Note : $\alpha_{th} = 0,04$ signifie que le rendement thermique du micro-cogénérateur augmente de 0,04 point de rendement sur PCS (en %) quand la température aval de fonctionnement diminue de 1°C par rapport à la température de référence de la mesure de rendement effectuée. Ainsi, un rendement thermique de 70% à 70°C de température aval est porté à 70,4% à 60°C de température aval.

La puissance thermique utile nominale Pngen (W) du générateur est celle mesurée dans les conditions nominales définies dans le Tableau 138. Elle dépend de la présence ou nom d'un appoint intégré :

- Cas sans appoint intégré :

$$P_{ngen} = P_{\text{th;chp\_100+sup\_0}} \quad (1227)$$

- Cas avec appoint brûleur intégré :

$$P_{ngen} = P_{\text{th;chp\_100+sup\_100}} \quad (1228)$$

8.21.3.1.3 Prise en compte des statuts de données

Les données de performance du micro-cogénérateurs à 100% de charge du générateur CHP et 100% de charge de l'appoint intégré (le cas échéant) et à à 100% de charge du générateur CHP et 0% de charge de l'appoint intégré sont soumis à la prise en compte de correction en fonction de leur statut. Ces données doivent être mesurées selon la norme d'essai de référence *NF EN 50465 (2015-03-25) Appareils à gaz - Appareils produisant de la chaleur et de l'électricité combinées dont le débit calorifique nominal est inférieur ou égal à 70 kW.*

Cela concerne les rendements thermiques et électriques ainsi que les puissances électriques absorbées à pleine charge, soit :

- $\eta_{\text{th,chp100+sup0,nom}}$ (%), $\eta_{\text{el,chp100+sup0,nom}}$ (%) et $\text{Pw}_{\text{aux,chp100+sup0}}$ (kW), dont le statut est géré à partir de la valeur de *Statut _chp100sup0,*

- $\eta_{\text{th,chp100+sup100,nom}}$ (%), $\eta_{\text{el,chp100+sup100,nom}}$ (%) et $\text{Pw}_{\text{aux,chp100+sup100}}$ (kW), si id_{app_inte} = *1,* dont le statut est géré à partir de la valeur de *Statut _chp100sup100,*

Les différents statuts de données suivants (valeurs de *Statut _chp100sup100* et *Statut _chp100sup0)* sont possibles:

- **0 : par défaut** : aucune information disponible.

  Les rendements thermiques et électriques sont pris égaux aux valeurs utiles maximales des Tableau 139 et Tableau 140 multipliées par un facteur 0,8.

  Les puissances électriques absorbées sont prises égales aux valeurs utiles maximales des Tableau 139 et Tableau 140 multipliées par un facteur 1,2.

- **1 : déclarée :** est déclarée par le fabricant du produit.

  Chaque rendement thermique ou électrique est pris égal au minimum de la valeur saisie par l'utilisateur multipliée par un facteur 0,8 et de la valeur utile maximale correspondante dans les Tableau 139 et Tableau 140.

  Chaque puissance électrique absorbée est prise égale au maximum de la valeur saisie par l'utilisateur multipliée par un facteur 1,2 et de la valeur utile maximale des Tableau 139 et Tableau 140.

- **2 : justifiée :** la valeur est mesurée au cours d'un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme *NF EN 50465.*

  Les rendements thermiques et électriques sont pris égaux aux valeurs saisies par l'utilisateur multipliées par un facteur 0,9.

  Les puissances électriques absorbées sont prises égales aux valeurs saisies par l'utilisateur multipliées par un facteur 1,1.

- **3 : certifiée :** la valeur est certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire

de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base de la norme *NF EN 50465,*

Ci-dessous sont listées l'ensemble des valeurs utiles maximales dans les cas sans appoint intégré *(id_{app_inte} = 0)* :

	Type de micro-cogénérateur type_chp			
	0 : MCI		***1 : Stirling***	***2 : micro-turbine***
	Gaz naturel Ou GPL	*FOD*		
$ind_{condensation}$	*0 : micro-cogénérateur standard*			
$\eta_{th,chp100+sup0,nom}$ (%)	*66%*		*80%*	*66%*
$\eta_{el,chp100+sup0,nom}$ (%)	*24%*		*15%*	*24%*
$Pw_{aux,chp100+sup0}$ (kW)	$\frac{45}{1000}.\left(P_{th;chp100+sup0}\right)^{0,48}$			

Tableau 139: Valeurs utiles maximales des rendements et puissance d'auxiliaires pour un micro-cogénérateur sans appoint intégré

Pour le cas appoint intégré (id_{app_inte} = 1), on utilise les valeurs du tableau ci-dessus déterminer les caractéristiques par défaut de l'ensemble du micro-cogénérateur avec appoint intégré. Le rendement thermique du brûleur d'appoint intégré par défaut est pris égal à 90%. Ainsi :

$$fx = \frac{P_{th;chp100+sup0}}{P_{th;chp100+sup100}} \quad (1229)$$

$$\eta_{th,chp100+sup100,nom} = \frac{1}{\frac{fx}{\eta_{th,chp100+sup0,nom}} + \frac{1-fx}{90\%}} \quad (1230)$$

$$\eta_{el,chp100+sup100,nom} = fx.\eta_{el,chp100+sup0,nom}.\frac{\eta_{th,chp100+sup100,nom}}{\eta_{th,chp100+sup0,nom}} \quad (1231)$$

$$Pw_{aux,chp100+sup100} = \frac{45}{1000}.\left(P_{th;chp100+sup100}\right)^{0,48} \quad (1232)$$

Tableau 140: Valeurs utiles maximales des rendements et puissance d'auxiliaires pour un micro-cogénérateur à appoint intégré

Par ailleurs, pour les paramètres secondaires de caractérisation de la charge partielle ou nulle du générateur, les valeurs par défaut sont précisées dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs sont appliquées dès lors que le paramètre de Statut correspondant (voir nomenclature) est fixé à 0 :

	Type de micro-cogénérateur type_chp			
	0 : MCI		***1 : Stirling***	***2 : micro-turbine***
	Gaz naturel Ou GPL	*FOD*		
P_{th,chp_min} (kW)	$60\% \,.\, P_{th;chp100+sup0}$			
$\phi_{th,stab,30}$ (W)	*Si id_{app_inte} = 0 :* $1000.4{,}25\%.\frac{P_{th;chp100+sup0}}{\left(P_{th;chp100+sup0}\right)^{0,4}}$ *Si id_{app_inte} = 1 :* $1000.4{,}25\%.\frac{P_{th;chp100+sup100}}{\left(P_{th;chp100+sup100}\right)^{0,4}}$			
$Pw_{auxveille}$ (W)	*15 W*			

Tableau 141: Valeur par défaut des paramètres de caractérisation de la charge partielle ou nulle

8.21.3.2 *Déroulement du calcul au pas de temps horaire*

8.21.3.2.1 Correction des rendements nominaux en fonction de la température aval a chaque pas de temps

Les rendements thermique et électrique sont mesurés dans des conditions de température donnée. Lorsque la température aval imposée au pas de temps h est différente de celle maintenue au cours des mesures, il convient de corriger les valeurs de rendements utilisés dans le calcul.

La correction appliquée des rendements en fonction de la température aval au pas de temps h est illustrée ci-dessous :

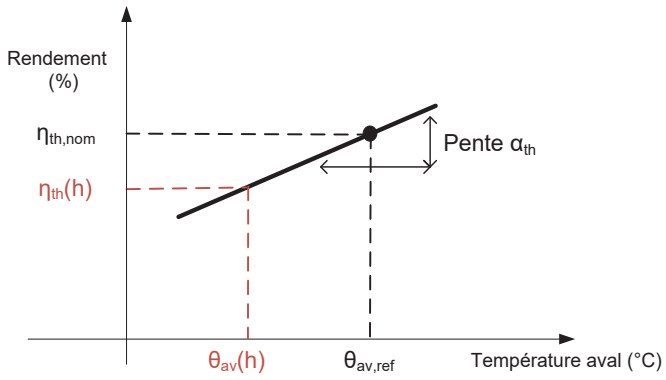


Figure 114: principe de la correction de rendement en fonction de la température aval

A un pas de temps où un seul service (chauffage ou ECS) est utilisé, les rendements sont corrigés en fonction de la température aval du poste en question. Lors d'un fonctionnement double service (demande en chauffage et ECS simultané au pas de temps h), la correction sera basée sur la moyenne des températures aval des deux postes pondérées par les quantités d'énergie à fournir :

$$\theta_{aval}(h) = \frac{Q_{req,ecs}(h).\theta_{aval,ecs}(h) + Q_{req,ch}(h).\theta_{aval,ch}(h)}{Q_{req,ecs}(h) + Q_{req,ch}(h)} \quad (1233)$$

Ainsi :

- Pour le module CHP seul :

$$\eta_{th,chp100+sup0}(h) = \eta_{th,chp100+sup0,nom} + \alpha_{th}.\left(\theta_{av,ref,chp100+sup0} - \theta_{aval}(h)\right) \quad (en\ \%) \quad (1234)$$

$$\eta_{el,chp100+sup0}(h) = \eta_{el,chp100+sup0,nom} + \alpha_{el}.\left(\theta_{av,ref,chp100+sup0} - \theta_{aval}(h)\right) \quad (en\ \%) \quad (1235)$$

- Pour le module CHP + l'appoint brûleur intégré :

$$\eta_{th,chp100+sup100}(h) = \eta_{th,chp100+sup100,nom} + \alpha_{th}.\left(\theta_{av,ref,chp100+sup100} - \theta_{aval}(h)\right) \quad (en\ \%) \quad (1236)$$

$$\eta_{el,chp100+sup100}(h) = \eta_{el,chp100+sup100,nom} + \alpha_{el}.\left(\theta_{av,ref,chp100+sup100} - \theta_{aval}(h)\right) \quad (en\ \%) \qquad (1237)$$

Correction des pertes thermiques en régime stabilisé en fonction de la température aval au pas de temps h :

$$\phi_{thstab}(h) = MAX\left[0{,}0\ ;\ \phi_{thstab,30}.\left(\frac{\theta_{aval}(h)-\theta_{amb}(h)}{30°C}\right)^{1{,}25}\right] \quad \text{(en W)} \qquad (1238)$$

Calcul de la puissance maximale du micro-cogénérateur au pas de temps h :

$$P_{max}(h) = 1000\ .P_{\text{th;chp100+sup100}}.\frac{\eta_{\text{th,chp100+sup100}}(h)}{\eta_{\text{th,chp100+sup100,nom}}} \quad (en\ W) \qquad (1239)$$

Dans le cas où le générateur ne contient pas d'appoint intégré, $P_{max}(h)$ est prise égale à $P_{max,chp}(h)$.

Correction des puissances thermiques maximale et minimale régulée maintenue du module CHP seul :

$$P_{max,chp}(h) = 1000.P_{\text{th;chp100+sup0}}.\frac{\eta_{th,chp100+sup0}(h)}{\eta_{th,chp100+sup0,nom}} \quad (en\ W) \qquad (1240)$$

$$P_{min,chp}(h) = 1000.\ P_{th;chp,min}.\frac{\eta_{th,chp100+sup100}(h)}{\eta_{th,chp100+sup100,nom}} \quad (en\ W) \qquad (1241)$$

8.21.3.2.2 Calcul de la quantité d'énergie fournie pour le service ECS

La première étape consiste à calculer de la quantité d'énergie fournie au pas de temps h pour le service ECS, qui intervient en premier dans le calcul à chaque pas de temps. Cette quantité d'énergie est plafonnée par la puissance maximale du générateur. Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), le besoin $Q_{req,ECS}(h)$ est divisé par le nombre de générateur identique R_{dim} à cette étape :

$$Q_{fou,ECS}(h) = MIN\left(P_{max,ecs}(h).\text{t}_\text{h};\frac{Q_{req,ECS}(h)}{\text{R}_\text{dim}}\right) \quad (en\ Wh) \qquad (1242)$$

$P_{max,ecs}(h)$ représente la puissance maximale calculée selon la relation (1239) à partir de la température aval propre au mode ECS.

Calcul de la part d'énergie fournie pour le poste ECS (utilisée dans le cas double service) :

$$R_{fonct,ECS}(h) = \frac{Q_{fou,ECS}(h)}{P_{max}(h).\text{t}_\text{h}} \qquad (1243)$$

Note : si $Q_{fou,ECS}(h)$ est nul, alors $R_{fonct,ECS}(h)$ l'est également.

Calcul de la quantité d'énergie restant $Q_{rest}(h)$ à fournir par un appoint externe au micro-cogénérateur au pas de temps h :

$$Q_{rest,ECS}(h) = Q_{req,ECS}(h) - Q_{fou,ECS}(h) \quad (en\ Wh) \qquad (1244)$$

8.21.3.2.3 Calcul de la quantité d'énergie fournie pour le service chauffage

La seconde étape consiste à calculer de la quantité d'énergie fournie au pas de temps h pour le service chauffage. Cette quantité d'énergie est plafonnée par la puissance maximale du générateur. Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), le besoin $Q_{req,CH}(h)$ est divisé par le nombre de générateur identique R_{dim} à cette étape :

$$Q_{fou,CH}(h) = MIN\left(R_{puisdispo}(h).P_{max,ch}(h).\mathrm{t_h}; \frac{Q_{req,CH}(h)}{\mathrm{R_{dim}}}\right) \quad (en\ Wh) \qquad (1245)$$

$P_{max,ch}(h)$ représente la puissance maximale calculée selon la relation (1239) à partir de la température aval du mode chauffage.

$R_{puis,dispo}$ est le ratio de puissance disponible pour le poste chauffage :

$$R_{puisdispo}(h) = 1{,}0 - R_{fonct,ecs}(h) \qquad (1246)$$

On calcule également le taux de charge relatif pour le poste chauffage :

$$\tau_{charge\_ch}(h) = \frac{Q_{fou,CH}(h)}{R_{puisdispo}(h).P_{max,ch}(h)} \qquad (1247)$$

Calcul de la quantité d'énergie restant $Q_{rest}(h)$ à fournir par un appoint externe au micro-cogénérateur au pas de temps h :

$$Q_{rest,CH}(h) = Q_{req,CH}(h) - Q_{fou,CH}(h) \quad (en\ Wh) \qquad (1248)$$

8.21.3.2.4 Calcul des pertes thermiques, puissance électrique produite et absorbée a pleine charge et charges intermédiaires

En préalable aux calculs des consommations, il convient de réaliser le calcul des pertes thermiques, de la puissance de production électrique nominale et de la puissance électrique absorbée par le micro-cogénérateur à plusieurs niveaux de charge thermique caractéristiques (à la puissance minimale maintenue / maximale du module de cogénération seul, et à la puissance maximale en incluant la contribution du brûleur intégré). Connaissant l'état du générateur à ces différents palliers, il sera ensuite possible de réaliser des interpolations en fonction du taux de charge effectif du générateur au pas de temps en cours.

Ainsi, on définit :

- $\phi_{pertes,chpmin}$, $Pw_{prelec,chpmin}$ et $Pw_{aux,chpmin}$ pertes thermiques, puissance de production d'électicité et puissance électrique absorbée par les auxiliaires au taux de charge correspondant à la puissance thermique $P_{chp,min}$:

$$\phi_{\mathrm{pertes,chp\_min}}(h) = \left(\frac{100\%}{\eta_{th,chp100+sup0}(h)+\eta_{el,chp100+sup0}(h)} - 1\right).P_{min,chp}(h) \quad (\text{en W}) \qquad (1249)$$

$$\mathrm{Pw_{prelec,chp\_min}}(h) = \frac{\eta_{el,chp100+sup0}(h)}{\eta_{th,chp100+sup0}(h)}.P_{min,chp}(h) \quad (\text{en W}) \qquad (1250)$$

$$\mathrm{Pw_{aux,chp\_min}}(h) = \mathrm{Pw_{aux,chp100+sup0}}.\frac{P_{min,chp}(h)}{P_{max,chp}(h)} \quad (\text{en W}) \qquad (1251)$$

- $\phi_{pertes,chp100+sup0}$, $Pw_{prelec,chp100+sup0}$ et $Pw_{aux,chp100+sup0}$ pertes thermiques, puissance de production d'électicité et puissance électrique absorbée par les auxiliaires à 100% de charge du module CHP et 0% de charge du brûleur d'appoint :

$$\phi_{\mathrm{pertes,chp100+sup0}}(h) = \left(\frac{100\%}{\eta_{th,chp100+sup0}(h)+\eta_{el,chp100+sup0}(h)} - 1\right).P_{max,chp}(h) \quad (\text{en W}) \qquad (1252)$$

$$\mathrm{Pw_{prelec,chp100+sup0}}(h) = \frac{\eta_{el,chp100+sup0}(h)}{\eta_{th,chp100+sup0}(h)}.P_{max,chp}(h) \quad (\text{en W}) \qquad (1253)$$

$Pw_{aux,chp100+sup0}$ est un paramètre directement défini par l'utilisateur.

- $\phi_{pertes,chp100+sup100}$, $Pw_{prelec,chp100+sup100}$ et $Pw_{aux,chp100+sup100}$ pertes thermiques, puissance de production d'électicité et puissance électrique absorbée par les auxiliaires à 100% de charge du module CHP et 100% de charge du brûleur d'appoint :

$$\phi_{\text{pertes,chp100+sup100}}(h) = \left(\frac{100\%}{\eta_{th,chp100+sup100}(h) + \eta_{el,chp100+sup100}(h)} - 1\right).P_{max}(h) \quad (1254)$$

$$\text{Pw}_{\text{prelec,chp100+sup100}}(h) = \frac{\eta_{el,chp100+sup100}(h)}{\eta_{th,chp100+sup100}(h)}.P_{max}(h) \quad \text{(en W)} \quad (1255)$$

$Pw_{aux,chp100+sup100}$ est un paramètre directement défini par l'utilisateur.

8.21.3.2.5 Calcul des quantités d'énergie consommees et produite

Le mode de fonctionnement du générateur, et donc ses performances, dépendent de son taux de charge. Par conséquent, le calcul des quantités d'énergie consommées et produite est décliné en fonction de la valeur de $Q_{fou}(h)$, quantité d'énergie thermique totale par fournie le micro-cogénérateur au pas de temps h (Wh). Pour un micro-cogénérateur double service, $Q_{fou}(h)$ est la somme des quantité d'énergie fournies en chauffage et ECS :

$$Q_{fou}(h) = Q_{fou,CH}(h) + Q_{fou,ECS}(h) \quad \textit{(en Wh)} \quad (1256)$$

$$\tau_{charge}(h) = R_{fonctecs}(h) + R_{puisdispo}(h).\tau_{charge\_ch}(h) \quad (1257)$$

Si $\tau_{charge}(h)$= 0 Wh, alors le générateur est considéré à l'arrêt (voir §8.21.3.2.7). Il ne fournit pas d'énergie, mais sa consommation d'auxiliaire et de veilleuse sont non-nulles. Dans le reste des cas, le générateur est considéré en fonctionnement (voir §8.21.3.2.6).

Le micro-cogénérateur est supposé fonctionner avec des organes hydrauliques de temporisation (accumulateur, bouteille de séparation) permettant de lisser son fonctionnement. La production ECS sera supposée accumulée ou semi-accumulée (non-instantannée).

Le temps d'allumage du micro-cogénérateur est supposé suffisament inférieur à la durée du pas de temps pour pouvoir le négliger.

8.21.3.2.6 Bilan énergétique du micro-cogenerateur en période de fonctionnement

Le générateur peut adopter plusieurs mode de fonctionnement en fonction de la quantité d'énergie fournie Q_{fou} :

- Si $0 < \tau_{charge}(h) < \frac{P_{minchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur fonctionne en module CHP seulement et en cycles tout ou rien.

- Si $\frac{P_{minchp}(h)}{Pmax(h)} < \tau_{charge}(h) < \frac{P_{maxchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur fonctionne avec le module CHP seulement et mode régulé maintenu.

- Enfin, lorsque un brûleur d'appoint intégré est présent : $\tau_{charge}(h) > \frac{P_{maxchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur fonctionne en mode module CHP + appoint brûleur, si ce dernier est présent.

$P_{max,chp}(h)$, $P_{max,chp}(h)$, $P_{max}(h)$ sont les puissances thermiques corrigées à la température moyenne $\theta_{aval}(h)$.

Cette logique est illustrée ci-dessous :

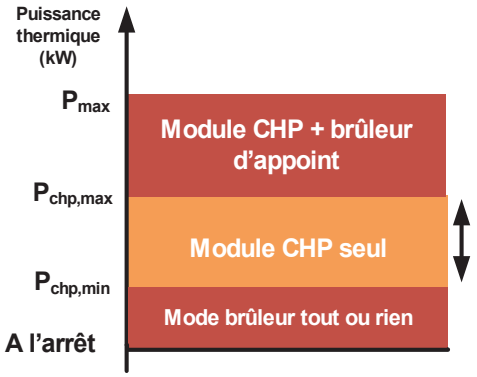


Figure 115: illustration des modes de fonctionnement du cogénérateur selon la puissance thermique moyenne fournie

Les lois d'évolution des pertes thermiques Qpertes, de la production électrique Qprelec et de la consommation d'auxiliaire Waux dans ces différents modes de fonctionnement sont représentées ci-dessous :

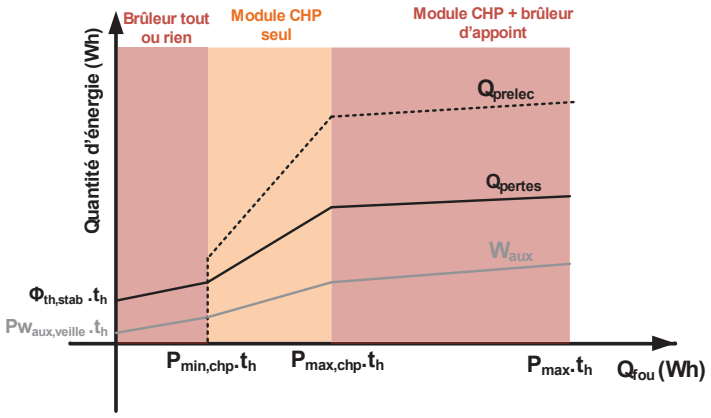


Figure 116: évolutions de Q_{pertes}, Q_{prelec} et W_{aux} entre les points de fonctionnement mesurés

Ces lois sont décrites sous forme algorithmique ci-dessous :

Si $0 < \tau_{charge}(h) \leq \frac{P_{minchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur fonctionne en brûleur gaz seulement et en cycles tout ou rien :

$$Q_{pertes}(h) = \left(fx.\phi_{\text{pertes,chp\_min}}(h) + (1-fx)(\phi_{thstab}(h) + P_{veilleuse})\right).\text{t}_\text{h} \ \textit{(en Wh)} \quad (1258)$$

$$Q_{prelec}(h) = \ 0 \qquad (en\ Wh) \quad (1259)$$

$$W_{aux,pro}(h) = \left(fx.\text{Pw}_{\text{aux,chp}_\text{min}}(h) + (1-fx).\text{Pw}_{\text{aux,veille}}\right).\text{t}_\text{h}\ (en\ Wh) \quad (1260)$$

Avec fx, facteur d'interpolation :

$$fx = \frac{P_{minchp}(h)}{P_{max}(h)}.\tau_{charge}(h) \quad (1261)$$

Si $\frac{P_{minchp}(h)}{Pmax(h)} < \tau_{charge}(h) \leq \frac{P_{maxchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur fonctionne avec le module CHP seulement et mode régulé maintenu :

$$Q_{pertes}(h) = \left(fx.\phi_{\text{pertes,chp100+sup0}}(h) + (1-fx).\phi_{\text{pertes,chp\_min}}(h)\right).\text{t}_\text{h} \quad (1262)$$
(en Wh)

$$Q_{prelec}(h) = \left(fx.\text{Pw}_{\text{prelec,chp100+sup0}}(h) + (1-fx).Pw_{prelec,chp,min}(h)\right).\text{t}_\text{h} \qquad (en\ Wh) \quad (1263)$$

$$W_{aux,pro}(h) = \left(fx.\text{Pw}_{\text{aux,chp100+sup0}} + (1-fx).\ \text{Pw}_{\text{aux,chp\_min}}(h)\right).\text{t}_\text{h} \qquad (en\ Wh) \quad (1264)$$

Avec fx, facteur d'interpolation :

$$fx = \frac{P_{maxchp}(h)}{P_{max}(h)}.\tau_{charge}(h) \quad (1265)$$

Enfin, lorsque un brûleur d'appoint est présent : si $\tau_{charge}(h) > \frac{P_{maxchp}(h)}{Pmax(h)}$, alors le générateur

fonctionne en mode module CHP + appoint brûleur :

$$Q_{pertes}(h) = \left(fx.\phi_{\text{pertes,chp100+sup100}}(h) + (1-fx).\phi_{\text{pertes,chp100+sup0}}(h)\right).\text{t}_\text{h} \quad \textit{(en Wh)} \tag{1266}$$

$$Q_{prelec}(h) = \left(fx.Pw_{prelec,chp100+sup100}(h) + (1-fx).\text{Pw}_{\text{prelec,chp100+sup0}}(h)\right).\text{t}_\text{h} \quad (en\ Wh) \tag{1267}$$

$$W_{aux,pro}(h) = \left(fx.Pw_{aux,chp100+sup100} + (1-fx).\text{Pw}_{\text{aux,chp100+sup0}}\right)\text{t}_\text{h} \quad (en\ Wh) \tag{1268}$$

Avec fx, facteur d'interpolation :

$$fx = \tau_{charge}(h) \tag{1269}$$

Calcul de la quantité d'énergie équivalente en combustible principal consommée par le micro-cogénérateur (ramenée au Pouvoir Calorifique Inférieur) :

$$Q_{cons}(h) = \frac{Q_{fou}(h) + Q_{prelec}(h) + Q_{pertes}(h)}{PCSI} \tag{1270}$$

8.21.3.2.7 Bilan énergétique du micro-cogenerateur en période d'arrêt

Lorsque le générateur est considéré à l'arrêt, il ne fournit pas d'énergie et ne produit pas d'électricité. Il peut néanmoins consommer de l'électricité (auxiliaires). Par ailleurs, en l'absence de dispositif d'isolement du générateur par rapport au circuit hydraulique de la génération ($id_{raccordgnr} = 1$: raccordement permanent), les pertes à l'arrêt du générateur $\phi_{thstab}(h)$ sont comptabilisées dans les consommations.

Ainsi :

$$Q_{fou}(h) = 0 \quad \textit{(en Wh)} \tag{1271}$$

$$Q_{prelec}(h) = 0 \quad (en\ Wh) \tag{1272}$$

$$Q_{pertes}(h) = 0 \quad \textit{(en Wh)} \tag{1273}$$

$$Q_{cons}(h) = \left(id_{raccordgnr}.\phi_{thstab}(h)\right).\text{t}_\text{h} \quad \textit{(en Wh)} \tag{1274}$$

$$W_{aux,pro}(h) = P_{aux,veille}.\text{t}_\text{h} \quad (en\ Wh) \tag{1275}$$

Lors des périodes où le générateur fonctionne en ECS seulement ($\text{ind}_{\text{ECS\_seule}}(h) = 1$: vrai), le calcul est réalisé lors de la prise en compte du mode ECS et $t_{dispo,ch}$ n'intervient pas dans les équations ci-dessus.

Par ailleurs, si le générateur ne fonctionne qu'en mode chauffage, $t_{dispo,ch}(h)$ est toujours égal à 1.

8.21.3.2.8 Sorties complémentaires

Calcul de la fraction récupérable de la quantité d'énergie échangée entre le générateur et l'ambiance dans lequel il est placé :

$$\varphi_{vc}(h) = id_{posgen}.f_{pa}.\left(Q_{pertes}(h) + W_{aux,pro}(h)\right) \quad \textit{(en Wh)} \tag{1276}$$

Où :

- $\text{id}_{\text{posgen}}$ prend la valeur 1 si le micro-cogénérateur est situé en volume chauffé (0 sinon),
- f_{pa} est la fraction des pertes du générateur corrrespondant à un échange thermique avec l'ambiance dans lequel il se situe, fixée conventionnellement à 0,3 (soit 30%).

Calcul du rendement effectif du générateur :

$$\eta_{eff}(h) = \frac{Q_{fou}(h)}{Q_{cons}(h)} \quad (1277)$$

Note : si $Q_{cons}(h)$ est nul, alors $\eta_{eff}(h)$ l'est également.

Allocation des consommations Qcons(h) dans le tableau de consommations $[Q_{cef(po.;en.)}(h)]$ par poste et par type d'énergie :

Si $ind_{ecs,seule}(h)$ = 1 (vrai) ou $\tau_{charge\_ch}(h)$ = 0%, alors

$$Q_{cef(ecs;id_{engen})} = Q_{cons}(h)$$

$$Q_{cef(ecs;élec.)} = W_{aux,pro}(h)$$

Sinon,

$$Q_{cef(ecs;id_{engen})}(h) = Q_{cons}(h).R_{fonct,ECS}(h) \quad (1278)$$

$$Q_{cef(ecs;élec.)}(h) = W_{aux,pro}(h).R_{fonct,ECS}(h)$$

$$Q_{cef(ch;id_{engen})}(h) = Q_{cons}(h).\left(1{,}0 - R_{fonct,ECS}(h)\right)$$

$$Q_{cef(ch;élec.)}(h) = W_{aux,pro}(h).\left(1{,}0 - R_{fonct,ECS}(h)\right)$$

Dans le cas où on représente plusieurs générateurs identiques (R_{dim} > 1), l'ensemble des quantités d'énergie (Wh) listées en tant que sorties dans la nomenclature sont multipliées par R_{dim} à l'issue du calcul, à chaque pas de temps.

La quantité d'énergie électrique produite au pas de temps h, $Q_{prelec}(h)$, est ajoutée à la quantité d'énergie électrique totale produite par la génération à laquelle est intégré le micro-cogénérateur.

8.22 C_GEN_poêles et inserts

8.22.1 INTRODUCTION

La présente fiche introduit les performances des poêles et inserts en tant que générateurs de chauffage. Elle se base sur le rendement moyen de l'appareil déterminé

selon les normes associées.

8.22.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 142 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
G/R de la génération	Q_{req}	Demande en énergie transmise au générateur via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$id_{fonction}$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le $Q_{req}(h)$ (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multi-fonctions.	Ent

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
P_{ngen}	Puissance nominale d'un appareil, déterminée suivant la NF EN 13240 pour les poêles, la NF EN 13229 pour les inserts, la NF EN 14785 pour les appareils à granulés et la NF EN 15250 pour les poêles à libération lente de chaleur	kW	0	100	-
$\eta_{H,sys,n}$	Rendement moyen déterminé suivant la norme NF EN 13240 pour les poêles, la NF EN 13229 pour les inserts, la NF EN 14785 pour les appareils à granulés et la NF EN 15250 pour les poêles à libération lente de chaleur	%	0	100	-
$P_{aux,vent}$	Puissance des auxiliaires d'un poêle ou insert (ventilateur).	W	0	$+\infty$	

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
R_{dim}	Nombre de générateurs identiques.	Ent	1	$+\infty$	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef(fonct.;en.)}\}$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh
Q_{cons}	Consommation horaire du générateur en énergie finale.	Wh
Q_{fou}	Energie totale effectivement fournie par le générateur au pas de temps h.	Wh

T_{charge}	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel
Q_{rest}	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh
Φ_{vc}	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises vers l'ambiance chauffée.	Wh
$W_{aux,pro}$	Consommations d'auxiliaire au pas de temps h.	Wh
η_{eff}	COP, EER ou rendement du générateur.	Réel

Variables internes

Nom	Description	Unité
$Q_{H,sys,is,100}$	Pertes du l'appareil de chauffage à puissance nominale.	Wh
$Q_{H,sys,is,0}$	Pertes du l'appareil de chauffage à charge nulle.	Wh
Q_{reqact}	Puissance requise au niveau du générateur, en tenant compte de R_{dim}.	Wh
Q_{fouact}	Energie totale fournie par le générateur.	Wh
$\Phi_{threcact}$	Pertes thermiques effectives du générateur vers l'ambiance au pas de temps h.	Wh

Tableau 142 : Nomenclature du modèle

8.22.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.22.3.1 ***Paramétrage***

Les appareils de chauffage au bois de type poêles et inserts correspondent au type *401*. Ils ne peuvent avoir qu'un rôle de chauffage (id_{fougen} =1).

8.22.3.1.1.1 Energie fournie par le générateur

L'énergie requise pour un poêle ou insert est la suivante :

$$Q_{reqact} = \frac{Q_{req}}{R_{\dim}} \text{ (Wh)} \quad (1279)$$

L'énergie fournie est limitée par la puissance nominale de l'appareil au bois :

$$Q_{fouact} = MIN(Q_{reqact}; 1000.P_{ngen}) \text{ (Wh)} \quad (1280)$$

8.22.3.1.2 Calcul du taux de charge

La modélisation se base sur un fonctionnement du poêle ou insert en régime nominal pendant une durée proportionnelle au taux de charge :

$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fouact}}{1000.P_{ngen}} \quad (1281)$$

8.22.3.2 ***Calculs des pertes de l'appareil de chauffage***

Les pertes pour deux niveaux de charge différents sont exprimées une seule fois pour toute la simulation :

- Les pertes à 100 % de charge, $Q_{H,sys,ls,100}$:

$$Q_{H,sys,ls,100} = \frac{(100 - \eta_{H,sys,n})}{\eta_{H,sys,n}}.P_{ngen} \quad (Wh) \quad (1282)$$

  Avec :

  - $P_{n,gen}$: Puissance déterminée suivant la NF EN 13240 pour les poêles, la NF EN 13229 pour les inserts et la NF EN 14785 pour les appareils à granulés et la NF EN 15250 pour les poêles à libération lente de chaleur.
  - $\eta_{H,sys,n}$: Rendement moyen déterminé suivant la norme NF EN 13240 pour les poêles, la NF EN 13229 pour les inserts, la NF EN 14785 pour les appareils à granulés et la NF EN 15250 pour les poêles à libération lente de chaleur.

- Les pertes à 0 % de charge, $Q_{H,sys,ls,0}$, considérées nulles :

$$Q_{H,sys,ls,0} = 0 \quad (Wh) \quad (1283)$$

En considérant que l'appareil au bois fonctionne un temps équivalent au taux de charge à puissance nominale, le calcul horaire des pertes du générateur est le suivant :

$$\phi_{threact} = \tau_{charge} \times Q_{H,sys,ls,100} + (1 - \tau_{charge}) \times Q_{H,sys,ls,0} \quad (Wh) \quad (1284)$$

8.22.3.3 ***Calcul de la consommation de l'appareil de chauffage***

$$Q_{consact} = Q_{fouact} + \phi_{threact} \quad (Wh) \quad (1285)$$

8.22.3.4 *Calculs des sorties*

8.22.3.4.1 Energie consommée et fournie

$$Q_{fou} = R_{\dim}.Q_{fouact} \quad (Wh) \tag{1286}$$

$$Q_{cons} = R_{\dim}.Q_{consact} \quad (Wh) \tag{1287}$$

8.22.3.4.2 Calculs de la consommation d'auxiliaire de l'appareil de chauffage

L'appareil de chauffage au bois fonctionne un temps en fraction d'heure correspondant au taux de charge. On considère qu'il n'y a pas de consommations hors fonctionnement :

$$W_{aux,pro} = R_{\dim}.\tau_{charge}.P_{aux,vent} \quad (Wh) \tag{1288}$$

8.22.3.4.3 Calcul des pertes vers l'ambiance chauffée

L'ensemble de l'énergie fournie par l'appareil de chauffage au bois est compris dans l'énergie fournie. Les pertes calculées $\phi_{threact}$ calculées précédemment sont intégralement perdues :

$$\phi_{vc} = 0 \quad (Wh) \tag{1289}$$

8.22.3.4.4 Calcul de l'efficacité de l'appareil de chauffage

$$\eta_{eff} = \frac{Q_{fouact}}{Q_{consact}} \tag{1290}$$

8.22.3.4.5 Calcul de l'énergie reportée

$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{fou} \quad (Wh) \tag{1291}$$

8.22.3.5 *Matrice des consommations du générateur*

La consommation en énergie finale du générateur est insérée dans la case correspondant à l'usage (chauffage) et au type d'énergie *«40 : Bois»*. La consommation des auxiliaires doit également être ajouté à la matrice (type d'énergie *«50 : Electricité»*).

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 143 : Matrice des consommations en énergies finales {Qcef(po;en)}

8.23 C_GEN_THERMODYNAMIQUE_Elec

8.23.1 INTRODUCTION

Cette fiche permet de calculer les performances des générateurs thermodynamiques à compression électrique en fonctionnement chauffage, en fonctionnement ECS et en fonctionnement refroidissement.
Elle permet de représenter plusieurs machines identiques fonctionnant dans le ou les mêmes modes.
En fonction de la puissance requise par l'émetteur ou par le réseau de distribution les valeurs calculées sont :

- Puissance absorbée,
- COP (ou EER),
- Puissance des auxiliaires,
- Pertes thermiques récupérables pour la fonction non principale

Le calcul pour une machine est mené en deux étapes :

- calcul en fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales des températures de sources,
- prise en compte de la charge partielle.

Les générateurs thermodynamiques peuvent être mono service (chauffage, refroidissement ou ECS), double service (chauffage et ECS), réversible (chauffage et refroidissement) ou triple service (chauffage, refroidissement et ECS). La description et le calcul des performances sont séparés pour chaque mode assuré par le générateur (mode chauffage, mode refroidissement et mode ECS).
Un générateur thermodynamique est défini par son type de source amont, parmi les choix suivants :

- air extérieur
- air extrait
- air de volume non-chauffé (production ECS uniquement),
- eau de nappe,
- eau glycolée,
- eau de boucle
- sol en détente directe (chauffage et production ECS uniquement).

Pour le chauffage et le refroidissement, on définit par ailleurs le type de fluide de distribution (ou source aval) :

- air intérieur recyclé,
- air neuf,
- eau,
- sol (plancher chauffant en détente directe seulement).

Un générateur thermodynamique de chauffage et/ou refroidissement à fluide de distribution air ou sol peut également assurer la production ECS.

8.23.2 NOMENCLATURE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
S. Amont	$h_{leg}(h)$	Heure légale au pas de temps h (0 à 24h).	h
S. Amont	$\theta_{amont}(h)$	Température de la source amont	°C
Génération	$\theta_{aval,ch}(h)$ $\theta_{aval,fr}(h)$ $\theta_{aval,ecs}(h)$	Températures de la source aval pour chaque poste	°C
Génération	$Q_{req,ch}(h)$ $Q_{req,fr}(h)$ $Q_{req,ecs}(h)$	Demande en énergie pour un poste donné calculé au niveau de la génération.	W
Génération	$R_{puis\_dispo}(h)$	Temps de fonctionnement à charge maximale potentiellement disponible (en fraction d'heure).	Réel
Génération	$i_{ECS\_seule}(h)$	Indicateur de production ECS seule.	Bool
Génération	$Pfou_{\_source\_amont\_maxi}(h)$	Puissance maximale qui peut être fournie compte tenu du COP_pc (ou de l'EER_pc) et des caractéristiques de l'air extrait	W

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Gene_Thermo_Elec	Catégorie de générateur thermodynamique à compression électrique : *Non-réversible (chauffage ou refroidissement)* *Réversible (chauffage et refroidissement)* *ECS seule (en base de production-stockage)* *Double-service (en base de production-stockage)* *Triple-service (en base de production-stockage)*	-			
Id_Fougen_Mod	Pour Cat_Thermo_Elec = Non-réversible, service assuré par le générateur : *1 : Chauffage* *2 : Refroidissement*	Ent	1	2	
Sys_thermo_Ch	Technologie en mode chauffage : *1 : PAC air extérieur/ eau* *2 : PAC air extérieur / air recyclé* *3 : PAC air extrait / air neuf* *4 : PAC eau de nappe / eau* *5 : PAC eau glycolée / eau* *6 : PAC eau de nappe / air recyclé* *7 : PAC eau de boucle / air recyclé* *8 : PAC sol/ eau* *9 : PAC sol/sol*	Ent	1	9	
Sys_thermo_Fr	Technologie en mode refroidissement : *1 : refroidisseur air extérieur / eau*	Ent	1	6	

	2 : refroidisseur air extérieur / air recyclé *3 : refroidisseur air extrait / air neuf* *4 : refroidisseur eau / eau et eau glycolée / eau* *5 : refroidisseur eau / air et eau de boucle / air recyclé* *6 : refroidisseur eau de nappe / air recyclé*				
Sys_thermo_Ecs	Technologie en mode ECS *1 : PAC air extérieur / eau* *2 : PAC air extrait / eau* *3 : PAC air ambiant / eau* *4 : PAC eau de nappe / eau* *5 : PAC sol / eau* *6 : PAC eau glycolée / eau*	Ent	1	6	
M_θ_Aval_Ch *M_θ_Aval_Fr* *M_θ_Aval_Ecs*	Valeurs de températures aval pour lesquelles les COP (ou EER) et Pabs sont saisis : *1 : θav,pivot* *2 : 2 premières valeurs de θav,i* *3 : etc…*	Ent	1	7	Selon type de générateur thermodynamique
M_θ_Amont_Ch *M_θ_Amont _Fr* *M_θ_Amont_Ecs*	Valeurs de températures aval pour lesquelles les COP (ou EER) et Pabs sont saisis : 1 : *θamont,pivot* *2 : 2 premières valeurs de θamont,j* *3 : etc…*	Ent	1	7	
Statut_données_PC_ch Statut_données_PC_fr Statut_données_PC_ECS	Statut des performances à pleine charge renseignées en chauffage/en ECS : *1 : il existe des valeurs de performance certifiées ou justifiées* *2 : il n'existe aucune valeur certifiée ou justifiée*	Ent	1	-	
Saisie des performances certifiées ou justifiées en chauffage					
{COR(i,j)}ch	Matrice des statuts de données en mode chauffage : *1 : valeurs certifiées* *2 : valeurs justifiées.*	{Ent}	1	2	
{Performance(i,j)}ch	Matrice des coefficients COP selon les températures amont et aval en mode chauffage (avant prétraitement)	{-}	0	+∞	
{Pabs(i,j)} ch	Matrice des puissances absorbées selon les températures amont et aval en mode chauffage	{kW}	0	+∞	
Saisie des performances déclarées ou par défaut en chauffage					
Statut_val_pivot_ch	Statut de la valeur Val_COP: *1 : valeurs déclarées* *2 : valeur par défaut*	Ent	1	2	-
Val_COP _ch	Valeur de COP pivot déclarée en mode chauffage (avant prétraitement)	-	0	+∞	-
Val_Pabs_ch	Valeur de puissance absorbée pivot déclarée en mode chauffage	kW	0	+∞	-
Saisie des performances certifiées ou justifiées en mode ECS					
{COR(i,j)}ecs	Matrice des statuts de données en mode ECS : *1 : valeurs certifiées* *2 : valeurs justifiées.*	{Ent}	1	2	
{Performance(i,j)}ecs	Matrice des coefficients COP selon les températures amont et aval en mode ECS (avant prétraitement)	{-}	0	+∞	
{Pabs(i,j)}ecs	Matrice des puissances absorbées selon les températures amont et aval en mode ECS	{kW}	0	+∞	
Saisie des performances déclarées ou par défaut en mode ECS					
Statut_val_pivot_ecs	Statut de la valeur COP_{pivot_ecs}: *1 : valeurs déclarées* *2 : valeur par défaut*	Ent	1	2	-
Val_COP _ecs	Valeur de COP pivot déclarée en mode ECS (avant	-	0	+∞	-

	prétraitement)				
$Val\_Pabs_{\_ecs}$	Valeur de puissance absorbée pivot déclarée en mode ECS	kW	0	+∞	-
Saisie des performances certifiées ou justifiées en mode refroidissement					
$\{COR(i,j)\}_{fr}$	Matrice des statuts de données en mode refroidissement *1 : valeurs certifiées* *2 : valeurs justifiées.*	{Ent}	1	2	
$\{Performance(i,j)\}_{fr}$	Matrice des coefficients EER selon les températures amont et aval en mode refroidissement (avant prétraitement)	{-}	0	+∞	
$\{P_{abs}(i,j)\}_{fr}$	Matrice des puissances absorbées selon les températures amont et aval en mode refroidissement	{kW}	0	+∞	
Saisie des performances déclarées ou par défaut en mode refroidissement					
$Statut\_val\_pivot_{\_fr}$	Statut de la valeur $EERpivot_{\_fr}$: *1 : valeurs déclarées* *2 : valeur par défaut*	Ent	1	2	-
Val_EER	Valeur d'EER pivot déclarée en mode refroidissement (avant prétraitement)	-	0	+∞	-
$Val\_Pabs_{\_fr}$	Valeur de puissance absorbée pivot déclarée en mode refroidissement	kW	0	+∞	-
Limites de fonctionnement de la machine selon le mode					
Lim_θ_ch Lim_θ_ecs Lim_θ_fr	Existence de limites de fonctionnement pour le mode considéré : 0 = pas de limite 1= limite sur l'une **ou** l'autre des températures de source 2 = limite sur l'une **et** l'autre des températures de source	Ent	0	2	-
$\theta max_{\_av\_ch}$ $\theta max_{\_av\_ecs}$	Température maximale aval au delà de laquelle la machine ne peut pas fonctionner en mode chauffage ou ECS	°C	-50	100	-
$\theta min_{\_av\_fr}$	Température minimale aval au delà de laquelle la machine ne peut pas fonctionner en mode refroidissement	°C	-50	100	
$\theta min_{\_am\_ch}$ $\theta min_{\_am\_ecs}$	Température minimale amont en dessous de laquelle la machine ne peut pas fonctionner en mode chauffage ou ECS	°C	-50	100	-
$\theta max_{\_av\_fr}$	Température maximale amont au delà de laquelle la machine ne peut pas fonctionner en mode refroidissement	°C	-50	100	
Fonctionnement à charge partielle en ECS (ECS seule) ou en chauffage (double service)					
Statut_fonct_part	Statut de la saisie des performances à charge partielle : *0 : par défaut* *1 : déclarée*	Ent	0	1	
Fonc_compr	Mode de fonctionnement du compresseur : *1 : Fonctionnement en mode continu du compresseur ou en cycles marche arrêt* *2 : Fonctionnement en cycles marche arrêt du compresseur*	Ent	1	2	
$Statut_{\_fonct\_continu}$	Statut de la saisie du point caractéristique du mode continu (« *contmin* ») : *2 : par défaut* *1 : justifié* *0 : certifié*	Ent	0	2	
$Ccp_{LRcontmin}$	Coefficient de correction de la performance pour un taux de charge égal à $LR_{contmin}$	Réel	0	2	
$LR_{contmin}$	Taux minimal de charge en fonctionnement continu. (= 1 si machine tout ou rien)	Réel	0	1	
D_{eq}	Durée équivalente liée aux irréversibilités	Minutes	0	60	0.5

D_{fou0}	Durée de fonctionnement à charge tendant vers zéro.	Minutes	0	60	
Puissance d'auxiliaires de la machine					
Statut_Taux	Statut de la saisie de la puissance d'auxiliaire de la machine : *0 : par défaut* *1 : déclarée*	Ent	0	1	
Taux	Part de la puissance électrique des auxiliaires ramenée à la puissance nominale absorbée	Réel	0	1	
Prétraitement: composition des matrices de performance					
$\{Cnn_{av\_Pabs}(\theta i, \theta k)\}_{ch}$ $\{Cnn_{av\_Pabs}(\theta i, \theta k)\}_{fr}$ $\{Cnn_{av\_Pabs}(\theta i, \theta k)\}_{ecs}$	Coefficients permettant le calcul de Pabs à la température aval θi en fonction de Pabs à la température aval θk, à une température amont donnée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_Pabs}(\theta j, \theta n)\}_{ch}$ $\{Cnn_{am\_Pabs}(\theta j, \theta n)\}_{fr}$ $\{Cnn_{am\_Pabs}(\theta i, \theta n)\}_{ecs}$	Coefficients permettant le calcul de Pabs à la température amont θj en fonction de Pabs à la température amont θn, à une température aval donnée	Réel			
$\{Cnn_{av\_COP}(\theta i, \theta k)\}_{ch}$ $\{Cnn_{av\_EER}(\theta i, \theta k)\}_{fr}$ $\{Cnn_{av\_COP}(\theta i, \theta k)\}_{ecs}$	Coefficients permettant le calcul du COP ou EER à la température aval θi en fonction du COP ou EER à la température aval θk, à une température amont donnée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_COP}(\theta i, \theta j)\}_{ch}$ $\{Cnn_{am\_EER}(\theta i, \theta k)\}_{fr}$ $\{Cnn_{am\_COP}(\theta i, \theta j)\}_{ecs}$	Coefficients permettant le calcul du COP ou EER à la température amont θj en fonction du COP ou EER à la température amont θn, à une température aval donnée	Réel			Voir selon technologie

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Typo_emetteur_ch Typo_emetteur_fr	Inertie du système d'émission principal utilisé avec le générateur thermodynamique en mode chauffage et/ou refroidissement *1 : forte : plancher ou plafond intégré au bâti,* *2 : moyenne : radiateur, plafond d'inertie moyenne,* *3 : légère : VCV, plancher et plafond d'inertie faible,* *4 : très légère: systèmes à air.*	Ent	1	4	
R_{dim}	Nombre de machines identiques.	Ent	1	-	

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{fou,ch}(h)$ $Q_{fou,fr}(h)$ $Q_{fou,ecs}(h)$	Energie totale effectivement fournie par le générateur pour le mode sollicité.	Wh
$Q_{rest,ch}(h)$ $Q_{rest,fr}(h)$ $Q_{rest,ecs}(h)$	Energie restant à fournir (dépassant la puissance maximale du générateur) pour le mode sollicité.	Wh
$\{Q_{cef\_ch(id\_engen)}\}(h)$ $\{Q_{cef\_ecs(id\_engen)}\}(h)$ $\{Q_{cef\_fr(id\_engen)}\}(h)$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de vecteur de 6 valeurs. L'indice id_engen correspond aux différents types d'énergie.	Wh

$\eta_{eff,ch}(h)$ $\eta_{eff,fr}(h)$ $\eta_{eff,ecs}(h)$	Efficacité effective du générateur pour le mode sollicité.	Réel			
$\tau_{charge,ch}(h)$ $\tau_{charge,fr}(h)$ $\tau_{charge,ecs}(h)$	Taux de charge du générateur pour le mode sollicité.	Réel			
$\Phi_{rejet,ch}(h)$ $\Phi_{rejet,ecs}(h)$ $\Phi_{rejet,fr}(h)$	Quantité d'énergie totale rejetée à la source amont pour le mode sollicité	Wh			
$Q_{fou}(h)$	Quantité d'énergie totale fournie par le générateur, tous modes confondus	Wh			
$Q_{cons}(h)$	Quantité d'énergie totale consommée par le générateur en énergie finale, tous modes confondus	Wh			
$\Phi_{rejet}(h)$	Quantité d'énergie totale rejetée à la source amont, tous modes confondus	Wh			
COP_pc(h) EER_pc(h)	COP (ou EER) utile à pleine charge pour le mode considéré (communiqués à C_Gen_Source_Amont).	Wh			
$R_{fonctecs}(h)$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS, à puissance maximale (en fraction d'heure).	Réel			
Id_{engen}	Identificateur de l'énergie principale : *Electricité : 50*	Ent	10	69	50
Id_{fluide_aval}	Nature du fluide aval : *1 : eau* *2 : air* *3 : sol*	Ent	1	3	
Id_{fluide_amont}	Nature de la source amont : *1 : eau* *2 : air* *3 : sol*	Ent	1	3	
id_{fougen}	Mode de fonctionnement admis par le générateur : 1 : Chauffage seul 2 : Refroidissement seul 3 : ECS seule 4 : Chauffage et ECS 5 : Chauffage et refroidissement 6 : Chauffage, refroidissement et ECS	Ent	1	6	

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\{Val\theta av(i)\}_{ch}$ $\{Val\theta av(i)\}_{fr}$ $\{Val\theta av(i)\}_{ecs}$	Liste des températures aval principales de la générateur en fonction du mode.	°C
$\{Val\theta am(j)\}_{ch}$ $\{Val\theta am(j)\}_{fr}$ $\{Val\theta am(j\}_{ecs}$	Liste des températures amont principales de laen fonction du mode.	°C

N_{av_ch} N_{av_fr} N_{av_ecs}	Nombre de températures aval principales	Ent	1
N_{am_ch} N_{av_fr} N_{am_ecs}	Nombre de températures amont principales pour chaque mode	Ent	1
$\{COP_{util}(i,j)\}_{ch}$ $\{EER_{util}(i,j)\}_{fr}$ $\{COP_{util}(i,j)\}_{ecs}$	Matrice des performances (COP ou EER) selon les températures amont et aval après remplissage complet et corrections associées aux statuts de données, pour chacun des modes	{-}	
LR(h)	Taux de charge du générateur pour le mode considéré	-	
$LR_{cycl}(h)$	Taux de charge calculé par rapport à LRcontmin, lorsque le compresseur fonctionne en marche/arrêt.	-	
$COP\_{LR}(h)$ $EER\_{LR}(h)$	COP (ou EER) utile et à charge réelle pour le mode considéré	-	
$COP\_{pc\_net}(h)$ $COP\_{LRcontminnet}(h)$ $COP\_{LR\_net}(h)$	COP utile à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle, sans prise en compte des auxiliaires ou des irréversibilités	-	
$EER\_{pc\_net}(h)$ $EER\_{LRcontminnet}(h)$ $EER\_{LR\_net}(h)$	EER utile à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle, sans prise en compte des auxiliaires ou des irréversibilités	-	
$P_{fou\_pc}(h)$ $P_{fou\_LRcontmint}(h)$ $P_{fou\_LR}(h)$	Puissance fournie par une machine à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle	W	
$P_{abs\_pc}(h)$ $P_{abs\_LR}(h)$	Puissance absorbée par une machine à pleine charge età charge réelle	W	
$P_{comp\_PC}(h)$ $P_{comp\_LRcontmint}(h)$ $P_{comp\_LR}(h)$	Puissance appelée par le compresseur à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle.	W	
$P_{fou\_pc\_brut}(h)$	Puissance maximale que peut fournir le générateur avec prise en compte des limites de fonctionnement.	W	
$P_{compma\_LR}(h)$	Puissance appelée à cause des irréversibilités à charge réelle	W	
$W_{aux,0}(h)$	Puissance effective absorbée par les auxiliaires à charge nulle	W	
$Ccp_{LRcontmin\_net}(h)$	Correction du COP « *net* » (sans prise en compte des auxiliaires ou des irréversibilités) pour le taux de charge $LR_{contmin}$.	-	
$Qreq_{act}(h)$	Energie requise ramenée une machine parmis les *Rdim* identiques	W	
$Qrest_{act}(h)$	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant, pour un générateur.	Wh	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
Val_util_max	Valeurs utiles maximales de COP ou EER propre à chaque technologie et à chaque mode	Voir selon technologie.	
$Rat_{basc,fr\text{-}ECS}$	Délai de basculement entre la fonction ECS et refroidissement	h	0,25

Tableau 144 : Nomenclature du modèle

8.23.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La modélisation du fonctionnement passe par deux étapes :

1) Le fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales de sources,
2) Le fonctionnement à charge partielle ou nulle.

8.23.3.1 *Généralités de prise en compte des performances dans un mode donné*

Le COP, l'EER (efficacité frigorifique) et la puissance absorbée à pleine charge sont renseignés à l'aide de matrices en fonction des températures à l'amont et à l'ava du générateur, pour chaque mode qu'il peut couvrir. Ces températures sont différentes selon le type de gnérateur et le mode considéré.

Les matrices sont créées en début de calcul dans une phase de prétraitement.

Ensuite, au cours du calcul, c'est-à-dire à chaque pas de temps, le COP et l'EER à pleine charge aux températures réelles des sources amont et aval sont obtenus par interpolation linéaire par rapport aux températures de référence amont et aval définies par technologie dans les matrices. La puissance absorbée à pleine charge est obtenue par interpolation linéaire par rapport aux mêmes températures.

Pour le COP et pour l'EER, chaque matrice est construite autour d'une 'valeur pivot', valeur correspondant aux conditions nominales de températures de source.

Les différents statuts de donnée suivants sont possibles pour la valeur pivot :

- **certifiée :** la valeur est certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes définies dans le Tableau 145**.**

  Aucune correction de la valeur pivot saisie n'est appliquée.

- **justifiée :** la valeur est mesurée au cours d'un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes définies dans le Tableau 145**.**

  Une réduction de 10% de la valeur pivot saisie est appliquée.

- **déclarée :** la valeur pivot est déclarée par le fabricant du produit.

  Une réduction de 20% de la valeur pivot saisi est appliquée. La valeur pivot est de plus plafonnée à une valeur utile maximale, définie selon la technologie.

- **par défaut** : aucune information disponible.

  La valeur pivot est imposée. Elle est prise, égale à la valeur utile maximale de la technologie réduite de 20%.

De même, pour les autres valeurs de la matrice de performance:

- certifiées : les valeurs sont certifiées par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/IEC 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes définies dans le Tableau 145.

  Aucune correction du COP/EER saisi n'est appliquée.

- **justifiées :** les valeurs sont mesurées au cours d'un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes définies dans le Tableau 145**.**

  Une réduction de 10% du COP/EER saisi est appliquée.

- **par défaut :** dès lors qu'elles ne sont ni certifiées ni justifiées, les autres valeurs de la matrice de performance sont calculées à l'aide de coefficients explicités dans le chapitre réservé à chacune des technologies.

Technologie	*Mode*	*Norme de référence*
Toute technologie autre que sol/eau	*Mode chauffage*	***NF EN 14511-2***[8]
	Mode refroidissement	***NF EN 14511-2***
	Mode production ECS	*Selon modalités de la fiche « **Saisie des chauffe-eau thermodynamiques à compression électrique** » :* ***NF EN 16147***[9] ***NF EN 14511-2***
Sol/eau	*Mode chauffage*	***NF EN 15879-1***[10]
	Mode production ECS	*Selon modalités de la fiche « **Saisie des chauffe-eau thermodynamiques à compression électrique** » :* ***NF EN 16147*** ***NF EN 15879-1***

Tableau 145 : normes pour la détermination des performances des climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et PAC à compresseur entraîné par moteur électrique.

Les données certifiées et les données justifiées sont fournies par l'utilisateur selon une règle de priorité définie par type de machine. L**a fourniture des valeurs mesurées devant en outre respecter l'ensemble des configurations amont/aval.** Par exemple dans le cas des machines air / eau en mode chauffage, si l'on retient Θaval = 32,5°C et 42.5°C et Θamont = -7°C, 2°C et 7°C, les COP mesurés doivent être fournis pour les 6 couples Θaval Θamont.

L'entrée des données des matrices et la correction des données sont les suivantes :

- Statut_données_PC = 1 : *il existe des valeurs de performance certifiées ou justifiées*

  Il est possible de saisir dans la matrice des données certifiées et/ou des données justifiées lorsqu'elles sont disponibles,

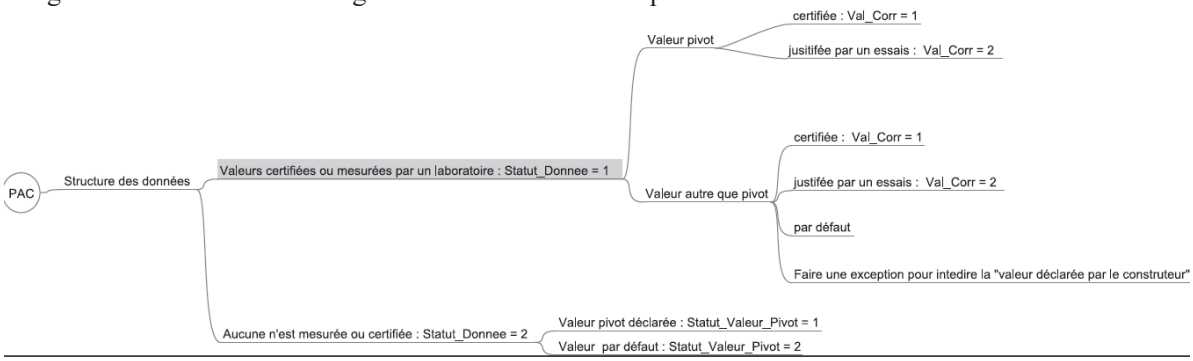
  entrée d'un paramètre qui indique, pour chaque valeur entrée précédemment, si c'est une valeur certifiée, une valeur justifiée. Ce paramètre est rangé dans une matrice semblable à la matrice des données, {COR(i,j)} qui contient la valeur 1 chaque fois que la performances correspondante dans la matrice de performance est une valeur certifiée, 2 pour une valeur justifiée. La correction est faite automatiquement.

  Les autres cases de la matrice de performances seront complétées par des valeurs par défaut, l'utilisateur n'ayant pas la possibilité de rentrer une valeur déclarée pour une performance autre que la valeur pivot.

[8] **NF EN 14511-2** Climatiseurs, groupes refroidisseurs et PAC avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et la réfrigération – Partie 2 : Conditions d'essai.
[9] **NF EN 16147** : Pompes à chaleur avec compresseur entrainé par moteur électrique - Essais et exigences pour le marquage des appareils pour eau chaude sanitaire.
[10] **NF EN 15879-1** : Essais et détermination des caractéristiques des pompes à chaleur à détente directe avec le sol avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et/ou la réfrigération des locaux - Partie 1 : pompes à chaleur à échange direct avec l'eau.

- Statut_données_PC = 2 : *il n'existe aucune valeur certifiée ou justifiée.*

La valeur pivot peut être saisie uniquement si $StatutCOP_{pivot} = 1$ (valeur déclarée). Sinon ($StatutCOP_{pivot} = 2$), la valeur par défaut est utilisée. c'est une valeur par défaut qui n'est pas entrée. La figure ci-dessous montre l'organisation des données de performance.



Les températures prises en compte sont la moyenne des températures départ et retour pour le vecteur eau et la température d'entrée pour le vecteur air.

Concernant la puissance absorbée, notée Pabs, cette dernière comprend la puissance du ou des compresseur(s), celle des auxiliaires internes de la machine et tout ou partie de la puissance des axillaires affectés au déplacement des médiums en contact externe avec l'évaporateur et le condenseur, selon le type de machine.

A l'instar des COP/EER, les puissances absorbées en conditions non nominales à pleine charge peuvent résulter d'essais ou de valeurs par défaut.

Les puissances absorbées mesurées doivent correspondre aux cas fournis pour les valeurs des COP. Dans l'exemple, la valeur 7°C/32,5°C est donc obligatoirement fournie.

- Statut_données_PC = 1 : *il existe des valeurs de performance certifiées ou justifiées*

Les valeurs prises en compte sont les valeurs résultant des essais, sans modification. Les autres valeurs sont des valeurs par défaut.

- Statut_données_PC = 2 : *il n'existe aucune valeur certifiée ou justifiée.*

On entre seulement la valeur Pivot sans modification. Les autres valeurs sont des valeurs par défaut.

On calcule les puissances absorbées par défaut sur la base d'une variation de 1% par degré de variation de température amont ou aval (la puissance du compresseur diminuant avec l'écart θaval – θamont), en respectant les mêmes règles que pour le COP.

La procédure de création des matrices de performance est détaillée dans les chapitres suivants pour chaque mode (chauffage, ECS, refroidissement).

8.23.3.2 *Configurations de générateurs thermodynamiques prises en compte*

Un générateur thermodynamique à compression électrique appartient nécessairement à l'une des cinq catégories suivantes :

- **Générateur thermodynamique non-réversible chauffage ou refroidissement (catégorie *Generateur_Thermodynamique_Elec_NonReversible)***

Dans ce cas, un seul mode de fonctionnement, chauffage ou refroidissement, est disponible sur le générateur. Le paramètre Id_Fougen_Mod permet de préciser si le générateur assure le chauffage (Id_FouGen_Mod = 1) ou le refroidissement (Id_FouGen_Mod = 2). L'utilisateur définit alors directement la valeur de Sys_Thermo_Ch ou Sys_Thermo_Fr pour le mode assuré :

Sys_thermo_Ch (mode chauffage seul)	**Sys_thermo_Fr (mode refroidissement seul)**
1 : PAC air extérieur/ eau 2 : PAC air extérieur / air recyclé 3 : PAC air extrait / air neuf 4 : PAC eau de nappe / eau 5 : PAC eau glycolée / eau 6 : PAC eau de nappe / air recyclé 7 : PAC eau de boucle / air recyclé 8 : PAC sol/ eau 9 : PAC sol/sol	1 : refroidisseur air extérieur / eau 2 : refroidisseur air extérieur / air recyclé 3 : refroidisseur air extrait / air neuf 4 : refroidisseur eau / eau et eau glycolée / eau 5 : refroidisseur eau / air et eau de boucle / air recyclé 6 : refroidisseur eau de nappe / air recyclé 7 : refroidisseur eau de nappe / eau

Tableau 146 : Generateur_Thermodynamique_Elec_NonReversible, technologies disponibles

- **Générateur thermodynamique réversible chauffage et refroidissement (catégorie *Generateur_Thermodynamique_Elec_Reversible)***

Dans ce cas, le générateur peut assurer soit le chauffage soit le refroidissement. L'utilisateur définit un paramètre Sys_Thermo_Rev, qui détermine quelles valeurs de Sys_thermo_Ch et Fr sont retenues dans le calcul :

Sys_thermo_Rev	**Valeur de Sys_thermo_Ch attribuée**	**Valeur de Sys_thermo_Fr attribuée**
1 : Machine réversible air extérieur /eau	1 : PAC air extérieur/ eau	1 : refroidisseur air extérieur / eau
2 : Machine réversible air extérieur / air recyclé	2 : PAC air extérieur / air recyclé	2 : refroidisseur air extérieur / air recyclé
3 : Machine réversible air extrait / air neuf	3 : PAC air extrait / air neuf	3 : refroidisseur air extrait / air neuf
4 : Machine réversible eau glycolée / eau	5 : PAC eau glycolée / eau	4 : refroidisseur eau / eau et eau glycolée / eau
5 : Machine réversible eau de boucle / air	7 : PAC eau de boucle / air recyclé	5 : refroidisseur eau / air et eau de boucle / air recyclé
6 : Machine réversible eau de nappe / air	6 : PAC eau de nappe / air recyclé	6 : refroidisseur eau de nappe / air recyclé
7 : Machine réversible eau de nappe / eau	4 : PAC eau de nappe / eau	7 : refroidisseur eau de nappe / eau

Tableau 147 : Generateur_Thermodynamique_Elec_Reversible, liste des technologies disponibles

- **Générateur thermodynamique de production ECS seule (catégorie *Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec)***

Dans ce cas, un seul mode de fonctionnement, production ECS, est disponible pour le générateur, qui doit nécessairement être associé à un assemblage production-stockage.

L'utilisateur définit alors directement la valeur de Sys_Thermo_Ecs :

Sys_thermo_Ecs (mode ECS seul)
1 : PAC air extérieur / eau 2 : PAC air extrait / eau 3 : PAC air ambiant / eau 4 : PAC eau de nappe / eau 5 : PAC sol / eau 6 : PAC eau glycolée / eau

Tableau 148 : Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec, technologies disponibles

- **Générateur thermodynamique double service chauffage et ECS (catégorie Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_DoubleService) :**

Dans ce cas, le générateur peut assurer le chauffage et la production ECS. Il doit nécessairement être associé à un assemblage production-stockage (pour le volet ECS).

L'utilisateur définit un paramètre Sys_Thermo_ds, qui détermine quelles valeurs de Sys_thermo_Ch et Ecs sont retenues dans le calcul :

Sys_thermo_ds	**Valeur de Sys_thermo_Ch attribuée**	**Valeur de Sys_thermo_Ecs attribuée**
1 : PAC air extérieur/ eau	1 : PAC air extérieur/ eau	1 : PAC air extérieur / eau
2: PAC eau de nappe / eau	4 : PAC eau de nappe / eau	4 : PAC eau de nappe / eau
3 : PAC eau glycolée / eau	5 : PAC eau glycolée / eau	6 : PAC eau glycolée / eau
4 : PAC sol / eau	8 : PAC sol/ eau	5 : PAC sol / eau
5 : PAC air extérieur/ air avec production ECS	2 : PAC air extérieur / air recyclé	1 : PAC air extérieur / eau

Tableau 149 : Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_DoubleService, liste des technologies disponibles

- **Générateur thermodynamique triple service chauffage, refroidissement et ECS (catégorie Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_TripleService) :**

Dans ce cas, le générateur thermodynamique peut assurer le chauffage, le refroidissement et la production ECS. Il doit nécessairement être associé à un assemblage production-stockage (pour le volet ECS).

L'utilisateur définit un paramètre Sys_Thermo_ts, qui détermine quelles valeurs de Sys_thermo_Ch, Fr et Ecs sont retenues dans le calcul :

Sys_thermo_ts	**Valeur de Sys_thermo_Ch attribuée**	**Valeur de Sys_thermo_Ecs attribuée**	**Valeur de Sys_thermo_Fr attribuée**
1 : Générateur air extérieur/ eau	1 : PAC air extérieur/ eau	1 : PAC air extérieur / eau	1 : refroidisseur air extérieur / eau
2: Générateur eau de nappe / eau	4 : PAC eau de nappe / eau	4 : PAC eau de nappe / eau	7 : refroidisseur eau de nappe / eau
3 : Générateur eau glycolée / eau	5 : PAC eau glycolée / eau	6 : PAC eau glycolée / eau	4 : refroidisseur eau / eau et eau glycolée / eau
5 : Générateur air extérieur/ air avec production ECS	2 : PAC air extérieur / air recyclé	1 : PAC air extérieur / eau	2 : refroidisseur air extérieur / air recyclé

Tableau 150 : Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_TripleService, liste des technologies disponibles

8.23.3.3 *Création des matrices de performance à pleine charge en mode chauffage*

8.23.3.3.1 Pac air / eau (SysThermo_CH = 1)

IdFluide_aval = 1; IdFluide_amont = 2

Val_util_max = 3,5

8.23.3.3.1.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air extérieur / eau est la suivante :

				Températures amont				
			θamont >	-15	-7	2	7	20
Θdépart	Θretour	θaval	priorité	5	2	3	1	4
25	22	23.5	4					
35	30	32.5	1					
45	40	42.5	2					
55	47	51	3					
65	55	60	5					

Figure 117 : Matrice de performance des PAC air extérieur / eau (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 7 ; θaval = 32.5.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 32.5°C 2 : 32.5°C et 42.5°C 3 : 32.5°C, 42.5°C, 51°C 4 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C 5 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C, 60°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 7 °C 2 : - 7 °C, 7 °C 3 : -7°C, 2°C, 7°C 4 : -7°C, 2°C; 7°C, 20°C 5 : -15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 151 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air extérieur / eau (chauffage)

8.23.3.3.1.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

Dans un premier temps, on s'assure à ce stade de la cohérence des données saisies dans les trois matrices {Performance_ch(i ;j)}, {Pabs(i ;j)}, et {COR(i ;j)}.

Si des valeurs pour l'une de ces trois matrices sont saisies non-nulles en dehors des coordonnées définies par le croisement de M_θ_Aval_Ch et M_θ_Amont_Ch, on renvoie le message d'erreur suivant : « *Générateur thermodynamique : certaines valeurs de la matrice en dehors de celles nécessaires ne sont pas nulles.* »

Si, à l'inverse, des valeurs pour l'une de ces trois matrices sont saisies nulles alors qu'elles se situent aux coordonnées définies par le croisement de M_θ_Aval_Ch et M_θ_Amont_Ch, on renvoie le message d'erreur suivant : « *Générateur thermodynamique : certaines valeurs de la matrice parmi celles requises pour le calcul sont nulles. ».*

Ensuite pour chaque valeur de la matrice {Performance_ch(i ;j)} non-nulle, on applique la correction en fonction du statut telle que définie ci-dessous :

Si Statut_données_PC $_{ch}$ = 1 (il existe des données certifiées ou justifiées)

$\forall\, i,j \rightarrow si\ COR\ (i,j) = 1,$

$$COP_{util}(i,j) = Performance\_ch(i,j)$$

$\forall\, i,j \rightarrow si\ COR\ (i,j) = 2,$

$$COP_{util}(i,j) = Performance\_ch(i,j) \times 0{,}9 \quad (1292)$$

Si Statut_données_PC $_{ch}$ = 2 (il n'existe pas de données certifiées ou justifiées)

Si Statut_val_pivot $_{ch}$ = 1 (valeur de COP pivot déclarée)

$$COP_{util}(2,4) = MIN(0{,}8 \times Val\_COP\_ch; Val\_util\_max)$$

Si Statut_val_pivot $_{ch}$ = 2 (valeur de COP pivot par défaut)

$$COP_{util}(2,4) = 0{,}8 \times Val\_util\_max$$

8.23.3.3.1.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non-certifiés et non-justifiés sont calculés par défaut à partir des coefficients suivants :

- si la puissance nominale à 7°C est inférieure à 100kW,

Températures aval	Températures amont
Cnnav $_{COP}$(42.5, 32.5) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(-7, 7) = 0.50
Cnnav $_{COP}$(51, 42.5) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(2, 7) = 0.80
Cnnav $_{COP}$(23.5, 32.5) = 1.10	Cnnam $_{COP}$(20, 7)=1.25
Cnnav $_{COP}$(60, 51) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(-15, -7)= 0.80

- si la puissance nominale à 7°C est supérieure à 100kW,

Températures aval	Températures amont
Cnnav $_{COP}$(42.5, 32.5) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(-7, 7) = 0.60
Cnnav $_{COP}$(51, 42.5) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(2, 7) = 0.80
Cnnav $_{COP}$(23.5, 32.5) = 1.10	Cnnam $_{COP}$(20, 7)=1.25
Cnnav $_{COP}$(60, 51) = 0.8	Cnnam $_{COP}$(-15, -7)= 0.80

Tableau 152 : PAC air extérieur / eau (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie (valeur de COP non-nulle). Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier, selon la procédure suivante :

si {COP_util(1,4)} = 0
{COP_util(1,4)} = {COP_util(2,4)} × Cnnav $_{COP}$(23.5, 32.5)
si {COP_util(3,4)} = 0
{COP_util(3,4)} = {COP_util(2,4)} × Cnnav $_{COP}$(42.5, 32.5)
si {COP_util(4,4)} = 0
{COP_util(4,4)} = {COP_util(3,4)} × Cnnav $_{COP}$(51, 42.5)
si {COP_util(5,4)} = 0
{COP_util(5,4)} = {COP_util(4,4)} × Cnnav $_{COP}$(60, 51) (1293)

- Ensuite, l'ensemble des lignes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$, (1294)

si {COP_util(i,2)} = 0
{COP_util(i,2)} = {COP_util(i,4)} × $Cnnam_{COP}$(- 7, 7)
si {COP_util(i,3)} = 0
{COP_util(i,3)} = {COP_util(i,4)} × $Cnnam_{COP}$(2, 7)
si {COP_util(i,5)} = 0
{COP_util(i,5)} = {COP_util(i,4)} × $Cnnam_{COP}$(20, 7)
si {COP_util(i,1)} = 0
{COP_util(i,1)} = {COP_util(i,2)} × $Cnnam_{COP}$(- 15, -7)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(42.5, 32.5) = 0.9$	$Cnnam_{\_Pabs}(-7, 7) = 0.86$
$Cnnav_{\_Pabs}(51, 42.5) = 0.915$	$Cnnam_{\_Pabs}(2, 7) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(23.5, 32.5) = 1.09$	$Cnnam_{\_Pabs}(20, 7)=1.13$
$Cnnav_{\_Pabs}(60, 51) = 0.91$	$Cnnam_{\_Pabs}(-15, -7)= 0.92$

Tableau 153 : PAC air extérieur / eau (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.2 PAC air extérieur / air recyclé (Sys_Thermo_Ch = 2)

IdFluide_aval = 2: air ;

IdFluide_amont = 2: air

Val_Util_Max = 3,5

8.23.3.3.2.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air extérieur/ air recyclé (chauffage) est la suivante :

		Θamont (air extérieur)				
	Θamont >	-15	-7	2	7	20
Θaval (air intérieur)	priorité	5	2	3	1	4
5	5					
10	4					
15	2					
20	1					
25	3					

Figure 118 : Matrice de performance des PAC air extérieur/ air recyclé (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour θamont = 7 ; Θaval = 20.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 20°C 2 : 20°C, 15°C 3 : 25°C, 20°C, 15°C 4 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C 5 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C, 5°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 7 °C 2 : - 7 °C, 7 °C 3 : -7°C, 2°C, 7°C 4 : -7°C, 2°C; 7°C, 20°C 5 : -15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 154 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air extérieur/ air recyclé (chauffage)

8.23.3.3.2.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (4,4).

8.23.3.3.2.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

- si la puissance nominale à 7°C est inférieure à 100kW,

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{COP}(15, 20) = 1.10$	$Cnnam_{COP}(-7, 7) = 0.50$
$Cnnav_{COP}(25, 20) = 0.9$	$Cnnam_{COP}(2, 7) = 0.80$
$Cnnav_{COP}(10, 20) = 1.20$	$Cnnam_{COP}(20, 7)=1.25$
$Cnnav_{COP}(5, 20) = 1.3$	$Cnnam_{COP}(-15, -7)= 0.80$

- si la puissance nominale à 7°C est supérieure à 100kW,

Températures aval	Températures amont

$Cnnav_{\_COP}(15, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_COP}(-7, 7) = 0.6$
$Cnnav_{\_COP}(25, 20) = 0.9$	$Cnnam_{\_COP}(2, 7) = 0.80$
$Cnnav_{\_COP}(10, 20) = 1.20$	$Cnnam_{\_COP}(20, 7)=1.25$
$Cnnav_{\_COP}(5, 20) = 1.3$	$Cnnam_{\_COP}(-15, -7)= 0.8$

Tableau 155 : PAC air extérieur / air recyclé (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(5, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(2,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(10, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(3,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(15, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(5,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(25, 20)
\end{aligned} \tag{1295}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,2)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(-7, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,3)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(2, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,5)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(20, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{_COP}(-15, -7)
\end{aligned} \tag{1296}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 20) = 1.05$	$Cnnam_{\_Pabs}(-7, 7) = 0.86$
$Cnnav_{\_Pabs}(25, 20) = 0.95$	$Cnnam_{\_Pabs}(2, 7) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(10, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_Pabs}(20, 7)=1.13$
$Cnnav_{\_Pabs}(5, 20) = 1.15$	$Cnnam_{\_Pabs}(-15, -7)= 0.92$

Tableau 156 : PAC air extérieur / air recyclé (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.3 PAC air extrait / air neuf (SysThermo_CH = 3)

IdFluide_aval = 2: air ;

IdFluide_amont = 2: air;

Val_Util_Max = 2,5

8.23.3.3.3.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air extrait / air neuf (chauffage)est la suivante.

		Θamont (air extrait)				
	Θamont >	5	10	15	20	25
Θaval (air neuf)	priorité	6	4	2	1	3
-15	5					
-7	2					
2	3					
7	1					
20	4					

Figure 119 : Matrice de performance des PAC air extrait / air neuf (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 20 ; Θaval = 7 ;

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 7 °C 2 : - 7 °C, 7 °C 3 : -7°C, 2°C, 7°C 4 : -7°C, 2°C; 7°C, 20°C 5 : -15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 20 °C 2 : 20 °C, 15 °C 3 : 20 °C, 15 °C, 25 °C 4 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C 5 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C, 6 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C, 5°C

Tableau 157 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air extrait / air neuf (chauffage)

8.23.3.3.3.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (4,4).

8.23.3.3.3.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(-7,7) = 1.20$	$Cnnam_{\_COP}(15, 20) = 0.90$
$Cnnav_{\_COP}(2,7) = 1.1$	$Cnnam_{\_COP}(25, 20) = 1.10$
$Cnnav_{\_COP}(20,7) = 0.80$	$Cnnam_{\_COP}(10, 20) = 0.80$
$Cnnav_{\_COP}(-15,7) = 1.30$	$Cnnam_{\_COP}(5, 20) = 0.70$

Tableau 158 : coefficients de correction en fonction des températures aux sources

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(-15, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(2,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(-7, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(3,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(2, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(5,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,4)\} = \{COP_util(4,4)\} \times Cnnav_{_COP}(20, 7)
\end{aligned} \tag{1297}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(5, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,2)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(10, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,3)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(15, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,5)\} = \{COP_util(i,4)\} \times Cnnam_{_COP}(25, 20)
\end{aligned} \tag{1298}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(-7,7) = 1.14$	$Cnnam_{\_Pabs}(15, 20) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(2,7) = 1.05$	$Cnnam_{\_Pabs}(25, 20) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(20,7) = 0.87$	$Cnnam_{\_Pabs}(10, 20)=0.90$
$Cnnav_{\_Pabs}(-15,7) = 1.22$	$Cnnam_{\_Pabs}(5, 20)=0.85$

Tableau 159 : PAC air extérieur / air recyclé (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.4 PAC eau de nappe / eau (SysThermo_CH = 4)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 4,7

8.23.3.3.4.1 Format de matrice

La matrice de performances des PAC eau de nappe / eau est la suivante.

				Θamont (eau de nappe)			
			Θretour	5	10	15	20
			Θdépart	2	7	12	17
Θaval (eau)			Θamont >	3.5	8.5	13.5	18.5
Θdépart	Θretour	Θaval	priorité	2	1	3	4
25	22	23.5	4				
35	30	32.5	1				
45	40	42.5	2				
55	47	51	3				
65	55	60	5				

Figure 120 : Matrice de performance des PAC eau de nappe / eau (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = 8.5 ; Θaval = 32.5.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 32.5°C 2 : 32.5°C et 42.5°C 3 : 32.5°C, 42.5°C, 51°C 4 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C 5 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C, 60°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 8.5 °C, 2 : 3.5 °C, 8.5 °C, 3 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5°C 4 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5°C, 18.5 °C

Tableau 160 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau de nappe / eau (chauffage)

8.23.3.3.4.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,2).

8.23.3.3.4.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(42.5, 32.5) = 0.8$	$Cnnam_{\_COP}(3.5, 8.5) = 0.9$
$Cnnav_{\_COP}(51, 42.5) = 0.8$	$Cnnam_{\_COP}(13.5, 8.5) = 1.1$
$Cnnav_{\_COP}(23.5, 32.5) = 1.1$	$Cnnam_{\_COP}(18.5, 8.5)= 1.2$
$Cnnav_{\_COP}(60, 51) = 0.8$	

Tableau 161 : PAC eau de nappe / eau (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,2)\} = \{COP_util(2,2)\} \times Cnnav_{_COP}(23.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(3,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,2)\} = \{COP_util(2,2)\} \times Cnnav_{_COP}(42.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(4,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(4,2)\} = \{COP_util(3,2)\} \times Cnnav_{_COP}(51, 42.5) \\
&\text{si } \{COP_util(5,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,2)\} = \{COP_util(4,2)\} \times Cnnav_{_COP}(60, 51)
\end{aligned} \tag{1299}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{_COP}(3.5, 8.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,3)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{_COP}(13.5, 8.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{_COP}(18.5, 8.5)
\end{aligned} \tag{1300}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(42.5, 32.5) = 0.9$	$Cnnam_{\_Pabs}(3.5, 8.5) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(51, 42.5) = 0.915$	$Cnnam_{\_Pabs}(13.5, 8.5) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(23.5, 32.5) = 1.09$	$Cnnam_{\_Pabs}(18.5, 8.5)= 1.10$
$Cnnav_{\_Pabs}(60, 51) = 0.91$	

Tableau 162 : PAC eau de nappe / eau (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.5 PAC eau glycolée / eau (SysThermo_CH = 5)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.3.5.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC eau glycolée / eau est la suivante.

				Θamont (eau glycolée)				
			Θretour	-5	0	5	10	15
			Θdépart	-8	-3	2	7	12
Θaval (eau)			Θamont >	-6.5	-1.5	3.5	8.5	13.5
Θdépart	Θretour	Θaval	priorité	4	1	2	3	5
25	22	23.5	4					
35	30	32.5	1					
45	40	42.5	2					
55	47	51	3					
65	55	60	5					

Figure 121 : Matrice de performance des PAC eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = -1.5 ; Θaval = 32.5.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 32.5°C 2 : 32.5°C et 42.5°C 3 : 32.5°C, 42.5°C, 51°C 4 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C 5 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C, 60°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : -1.5 °C 2 : -1.5 °C, 3.5 °C 3 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5°C 4 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5 °C, -6.5°C 5 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5 °C, -6.5°C, 13.5 °C

Tableau 163 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau glycolée / eau (chauffage)

8.23.3.3.5.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,2).

8.23.3.3.5.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{COP}(42.5, 32.5) = 0.8$	$Cnnam_{COP}(3.5, -1.5) = 1.10$
$Cnnav_{COP}(51, 42.5) = 0.8$	$Cnnam_{COP}(8.5, -1.5) = 1.20$
$Cnnav_{COP}(23.5, 32.5) = 1.1$	$Cnnam_{COP}(-6.5, -1.5)= 0.90$
$Cnnav_{COP}(60, 51) = 0.8$	$Cnnam_{COP}(13.5, -1.5)= 1.30$

Tableau 164 : PAC eau glycolée / eau (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,2)\} = \{COP_util(2,2)\} \times Cnnav_COP(23.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(3,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,2)\} = \{COP_util(2,2)\} \times Cnnav_COP(42.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(4,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(4,2)\} = \{COP_util(3,2)\} \times Cnnav_COP(51, 42.5) \\
&\text{si } \{COP_util(5,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,2)\} = \{COP_util(4,2)\} \times Cnnav_COP(60, 51)
\end{aligned} \tag{1301}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{COP}(-6.5, -1.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,3)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{COP}(3.5, -1.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{COP}(8.5, -1.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,5)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_{COP}(13.5, -1.5)
\end{aligned} \tag{1302}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{Pabs}(42.5, 32.5) = 0.9$	$Cnnam_{Pabs}(3.5, -1.5) = 1.05$
$Cnnav_{Pabs}(51, 42.5) = 0.915$	$Cnnam_{Pabs}(8.5, -1.5) = 1.10$
$Cnnav_{Pabs}(23.5, 32.5) = 1.09$	$Cnnam_{Pabs}(-6.5, -1.5)=0.95$
$Cnnav_{Pabs}(60, 51) = 0.91$	$Cnnam_{Pabs}(13.5, -1.5)= 1.15$

Tableau 165 : PAC eau glycolée / eau (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.6 Pac eau de nappe / air (SysThermo_CH = 6)

IdFluide_aval = 2: air;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 3,5

8.23.3.3.6.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC eau de nappe / air (chauffage) est la suivante.

		Θamont (eau de nappe)			
	Θretour	5	10	15	20
	Θdépart	2	7	12	17
	Θamont >	3.5	8.5	13.5	18.5
Θaval(air)	priorité	2	1	3	4
5	5				
10	4				
15	2				
20	1				
25	3				

Figure 122 : Matrice de performance des PAC eau de nappe / air (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = 8.5 ; Θaval = 20.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 20°C 2 : 20°C, 15°C 3 : 25°C, 20°C, 15°C 4 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C 5 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C, 5°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 8.5 °C, 2 : 3.5 °C, 8.5 °C, 3 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5°C 4 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5°C, 18.5 °C

Tableau 166 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau de nappe / air (chauffage)

8.23.3.3.6.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,4).

8.23.3.3.6.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(15, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_COP}(3.5, 8.5) = 0.9$
$Cnnav_{\_COP}(25, 20) = 0.9$	$Cnnam_{\_COP}(13.5, 8.5) = 1.1$
$Cnnav_{\_COP}(10, 20) = 1.20$	$Cnnam_{\_COP}(18.5, 8.5)= 1.2$
$Cnnav_{\_COP}(5, 20) = 1.3$	

Tableau 167 : PAC eau glycolée / air (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,2)\} = \{COP_util(2,4)\} \times Cnnav_COP(5, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(2,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,2)\} = \{COP_util(2,4)\} \times Cnnav_COP(10, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(2,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,3)\} = \{COP_util(2,4)\} \times Cnnav_COP(15, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(5,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,2)\} = \{COP_util(2,4)\} \times Cnnav_COP(25, 20)
\end{aligned} \tag{1303}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_COP(3.5, 8.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,3)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_COP(13.5, 8.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,2)\} \times Cnnam_COP(18.5, 8.5)
\end{aligned} \tag{1304}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 20) = 1.05$	$Cnnam_{\_Pabs}(3.5, 8.5) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(25, 20) = 0.95$	$Cnnam_{\_Pabs}(13.5, 8.5) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(10, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_Pabs}(18.5, 8.5)= 1.10$
$Cnnav_{\_Pabs}(5, 20) = 1.15$	

Tableau 168 : PAC eau glycolée / air (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.7 PAC eau de boucle / air (SysThermo_CH = 7)

IdFluide_aval = 2: air;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 4

8.23.3.3.7.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC eau de boucle / air est la suivante.

		Θamont (eau de boucle)				
	Θretour	10	15	20	25	30
	Θdépart	7	12	17	22	27
	Θamont >	8.5	13.5	18.5	23.5	28.5
Θaval (air intérieur)	priorité	4	2	1	3	5
5	5					
10	4					
15	2					
20	1					
25	3					

Figure 123 : Matrice de performance des PAC eau de boucle / air (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = 18.5 ; Θaval = 20.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 20°C 2 : 20°C, 15°C 3 : 25°C, 20°C, 15°C 4 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C 5 : 25°C, 20°C, 15°C, 10°C, 5°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 18.5 °C 2 : 13.5 °C 18.5 °C 3 : 13.5 °C 18.5 °C, 23.5 °C 4 : 8.5 °C, 13.5 °C 18.5 °C, 23.5 °C 5 : 8.5 °C, 13.5 °C 18.5 °C, 23.5 °C, 28.5 °C

Tableau 169 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau de boucle / air (chauffage)

8.23.3.3.7.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (4,3).

8.23.3.3.7.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(15, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_COP}(13.5, 18.5) = 0.9$
$Cnnav_{\_COP}(25, 20) = 0.9$	$Cnnam_{\_COP}(23.5, 18.5) = 1.1$
$Cnnav_{\_COP}(10, 20) = 1.20$	$Cnnam_{\_COP}(8.5, 18.5)=0.8$
$Cnnav_{\_COP}(5, 20) = 1.3$	$Cnnam_{\_COP}(28.5, 18.5) = 1.2$

Tableau 170 : PAC eau glycolée / air (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,3)\} = \{COP_util(4,3)\} \times Cnnav_COP(5, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(2,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,3)\} = \{COP_util(4,3)\} \times Cnnav_COP(10, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(3,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,3)\} = \{COP_util(4,3)\} \times Cnnav_COP(15, 20) \\
&\text{si } \{COP_util(5,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,3)\} = \{COP_util(4,3)\} \times Cnnav_COP(25, 20))
\end{aligned} \tag{1305}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_COP(8.5, 18.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,2)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_COP(13.5, 18.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_COP(23.5, 18.5) \\
&\text{si } \{COP_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,5)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_COP(28.5, 18.5)
\end{aligned} \tag{1306}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 20) = 1.05$	$Cnnam_{\_Pabs}(13.5, 18.5) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(25, 20) = 0.95$	$Cnnam_{\_Pabs}(23.5, 18.5) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(10, 20) = 1.10$	$Cnnam_{\_Pabs}(8.5, 18.5)=0.9$
$Cnnav_{\_Pabs}(5, 20) = 1.15$	$Cnnam_{\_Pabs}(28.5, 18.5) = 1.10$

Tableau 171 : PAC eau de boucle/ air (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.8 PAC sol / eau (SysThermo_CH = 8)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 3: sol;

Val_Util_Max = 3,8

8.23.3.3.8.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC sol/eau est la suivante :

				Θamont (sol) (°C)			
Θaval (eau)				**-4**	**1.5**	**4**	**6.5**
Θdépart	Θretour	Θaval	**Priorité**	3	2	1	4
25	22	23.5	3				
35	30	32.5	1				
45	40	42.5	2				
55	47	51	4				
65	55	60	5				

Figure 124 : Matrice de performance des PAC sol / eau (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = 4 ; Θaval = 20.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 32.5°C 2 : 32.5°C et 42.5°C 3 : 32.5°C, 42.5°C, 51°C 4 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C 5 : 23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C, 60°C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 4°C 2 : 1,5°C ; 4°C 3 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C 4 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C ; 6,5°C

Tableau 172 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC sol/eau (chauffage)

8.23.3.3.8.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,3).

8.23.3.3.8.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(42,5; 32,5) = 0,8$	$Cnnam_{\_COP}(-1;5 ; 4) = 0,95$
$Cnnav_{\_COP}(51; 42,5) = 0,8$	$Cnnam_{\_COP}(-4 ; 4) = 0,8$
$Cnnav_{\_COP}(23,5; 32,5) = 1,1$	$Cnnam_{\_COP}(6,5 ; 4)= 1,07$
$Cnnav_{\_COP}(60; 51) = 0,8$	

Tableau 173 : PAC sol /eau (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,3)\} = \{COP_util(2,3)\} \times Cnnav_COP(23.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(3,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,3)\} = \{COP_util(2,3)\} \times Cnnav_COP(42.5, 32.5) \\
&\text{si } \{COP_util(4,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(4,3)\} = \{COP_util(3,3)\} \times Cnnav_COP(51, 42.5) \\
&\text{si } \{COP_util(5,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(5,3)\} = \{COP_util(4,3)\} \times Cnnav_COP(60, 51)
\end{aligned} \tag{1307}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(-4 ; 4) \\
&\text{si } \{COP_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,2)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(-1;5 ; 4) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(6,5 ; 4)
\end{aligned} \tag{1308}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(42.5, 32.5) = 0.9$	$Cnnam_{\_Pabs}(-1;5 ; 4) = 1$
$Cnnav_{\_Pabs}(51, 42.5) = 0.915$	$Cnnam_{\_Pabs}(-4 ; 4) = 1$
$Cnnav_{\_Pabs}(23.5, 32.5) = 1.09$	$Cnnam_{\_Pabs}(6,5 ; 4)= 1$
$Cnnav_{\_Pabs}(60, 51) = 0.91$	

Tableau 174 : PAC sol/eau (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.3.9 PAC sol / sol (SysThermo_CH = 9)

IdFluide_aval = 3: sol;

IdFluide_amont = 3: sol;

Val_Util_Max = 3,8

8.23.3.3.9.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC sol/sol (chauffage) est la suivante :

		Θamont (sol) (°C)			
		-4	**1.5**	**4**	**6.5**
Θaval	**Priorité**	3	2	1	4
35	1				

Figure 125 : Matrice de performance des PAC sol / sol (chauffage)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est pour θamont = 4 ; Θaval = 35.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ch* et *M_θ_Amont_Ch*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ch*
1 : 35 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ch*
1 : 4°C 2 : 1,5°C ; 4°C 3 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C 4 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C ; 6,5°C

Tableau 175 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC sol/eau (chauffage)

8.23.3.3.9.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (1,3).

8.23.3.3.9.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
Sans objet	$Cnnam_{COP}(-1;5 ; 4) = 0,95$ $Cnnam_{COP}(-4 ; 4) = 0,8$ $Cnnam_{COP}(6,5 ; 4)= 1,07$

Tableau 176 : PAC sol /sol (chauffage), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en intégrant l'impact des températures aval par propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot. On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi, l'ensemble des colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,1)\} = \{COP_util(1,3)\} \times Cnnam_{COP}(-4 ; 4) \\
&\text{si } \{COP_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,2)\} = \{COP_util(1,3)\} \times Cnnam_{COP}(-1;5 ; 4) \qquad (1309) \\
&\text{si } \{COP_util(1,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,4)\} = \{COP_util(1,3)\} \times Cnnam_{COP}(6,5 ; 4)
\end{aligned}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
Sans objet	$Cnnam_{\_Pabs}(-1;5 ; 4) = 1$ $Cnnam_{\_Pabs}(-4 ; 4) = 1$ $Cnnam_{\_Pabs}(6,5 ; 4)= 1$

Tableau 177 : PAC sol/sol (chauffage), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4 *Création des matrices de performance à pleine charge en mode production ECS*

8.23.3.4.1 PAC air extérieur / eau (Sys_Thermo_ECS = 1)

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 2,7

8.23.3.4.1.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air extérieur / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (air extérieur)				
	Θamont >	-7	2	7	20	35
Θaval	priorité	4	2	1	3	5
5	7					
15	5					
25	3					
35	2					
45	1					
55	4					
65	6					

Figure 126 : Matrice de performance des PAC air extérieur / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 7 ; Θaval = 45 ;

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : 7 °C 2 : 7 °C, 2 °C 3 : 7 °C, 2 °C, 20 °C 4 : 7 °C, 2 °C, 20 °C, -7 °C 5 : 7 °C, 2 °C, 20 °C, -7 °C, 35 °C

Tableau 178 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air extérieur / eau (ECS)

8.23.3.4.1.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,3).

8.23.3.4.1.3 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$	$Cnnam_{\_COP}(2,7) = 0.80$
$Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$	$Cnnam_{\_COP}(20,7) = 1.25$
$Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$	$Cnnam_{\_COP}(-7,7) = 0.50$
$Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$	$Cnnam_{\_COP}(35,7) = 1.50$
$Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$	
$Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	

Tableau 179 : PAC air extérieur/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(1,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(1,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(5, 45) \\
&\text{si } \{COP_util(2,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(2,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(15, 45) \\
&\text{si } \{COP_util(3,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(3,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(25, 45) \\
&\text{si } \{COP_util(4,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(4,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(35, 45) \\
&\text{si } \{COP_util(6,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(6,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(55, 45) \\
&\text{si } \{COP_util(7,3)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(7,3)\} = \{COP_util(5,3)\} \times Cnnav_{_COP}(65, 45)
\end{aligned} \tag{1310}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{COP_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,1)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(-7, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,2)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(2, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,4)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(20, 7) \\
&\text{si } \{COP_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{COP_util(i,5)\} = \{COP_util(i,3)\} \times Cnnam_{_COP}(35, 7)
\end{aligned} \tag{1311}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$	$Cnnam_{\_Pabs}(2, 7) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$	$Cnnam_{\_Pabs}(20, 7)=1.13$
$Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$	$Cnnam_{\_Pabs}(-7, 7)= 0.86$
$Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$	$Cnnam_{\_Pabs}(35, 7)= 1.28$
$Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$	
$Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	

Tableau 180 : PAC air extérieur/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4.2 PAC air extrait / eau (Sys_Thermo_ECS = 2)

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 3,2

8.23.3.4.2.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air extrait / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (air extrait)					
	Θamont >	5	10	15	20	25	30
Θaval	priorité	6	4	2	1	3	5
5	7						
15	5						
25	3						
35	2						
45	1						
55	4						
65	6						

Figure 127 : Matrice de performance des PAC air extrait / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 20 ; Θaval = 45 ;

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : 20 °C 2 : 20 °C, 15 °C 3 : 20 °C, 15 °C, 25 °C 4 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C 5 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C, 30 °C 6 : 20 °C, 15 °C, 25 °C, 10 °C, 30 °C, 5 °C

Tableau 181 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air extrait / eau (ECS)

8.23.3.4.2.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,4).

8.23.3.4.2.2 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$	Cnnam_COP(15, 20) = 0.9
$Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$	Cnnam_COP(25, 20) = 1.1
$Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$	Cnnam_COP(10, 20) = 0.8
$Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$	Cnnam_COP(30, 20) = 1.2
$Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$	Cnnam_COP(5, 20) = 0.7
$Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	

Tableau 182 : PAC air extrait/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier selon la procédure décrite dans l'équation (1310) du §8.23.3.4.1.3;

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {COP_util(i,1)} = 0
{COP_util(i,1)} = {COP_util(i,4)} × Cnnam_COP(5, 20)
si {COP_util(i,2)} = 0
{COP_util(i,2)} = {COP_util(i,4)} × Cnnam_COP(10, 20)
si {COP_util(i,3)} = 0
{COP_util(i,3)} = {COP_util(i,4)} × Cnnam_COP(15, 20) (1312)
si {COP_util(i,5)} = 0
{COP_util(i,5)} = {COP_util(i,4)} × Cnnam_COP(25, 20)
si {COP_util(i,6)} = 0
{COP_util(i,6)} = {COP_util(i,4)} × Cnnam_COP(30, 20)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$	Cnnam_Pabs(15, 20) = 0.95
$Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$	Cnnam_Pabs(25, 20) = 1.05
$Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$	Cnnam_Pabs(10, 20)=0.90
$Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$	Cnnam_Pabs(30, 20)= 1.10
$Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$	Cnnam_Pabs(5, 20)=0.85
$Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	

Tableau 183 : PAC air extrait/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4.3 PAC air ambiant / eau (Sys_Thermo_Ecs = 3)

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 3,1

8.23.3.4.3.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC air ambiant / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (air extrait)					
	Θamont >	5	10	15	20	25	30
Θaval	priorité	6	3	1	2	4	5
5	7						
15	5						
25	3						
35	2						
45	1						
55	4						
65	6						

Figure 128 : Matrice de performance des PAC air ambiant / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 20 ; Θaval = 45 ;

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : 15 °C 2 : 15 °C, 20 °C 3 : 15 °C, 20 °C, 10 °C 4 : 15 °C, 20 °C, 10 °C, 25 °C 5 : 15 °C, 20 °C, 10 °C, 25 °C, 30 °C 6 : 15 °C, 20 °C, 10 °C, 25 °C, 30 °C, 5 °C

Tableau 184 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC air ambiant / eau (ECS)

8.23.3.4.3.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,3).

8.23.3.4.3.2 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$	Cnnam_COP(20, 15) = 1.1
$Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$	Cnnam_COP(10, 15) = 0.9
$Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$	Cnnam_COP(25, 15) = 1.2
$Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$	Cnnam_COP(30, 15) = 1.3
$Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$	Cnnam_COP(5, 15) = 0.8
$Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	

Tableau 185 : PAC air ambiant/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier selon la procédure décrite dans l'équation (1310) du §8.23.3.4.1.3;

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {COP_util(i,1)} = 0
{COP_util(i,1)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(5, 15)
si {COP_util(i,2)} = 0
{COP_util(i,2)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(10, 15)
si {COP_util(i,4)} = 0
{COP_util(i,4)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(20, 15) (1313)
si {COP_util(i,5)} = 0
{COP_util(i,5)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(25, 15)
si {COP_util(i,6)} = 0
{COP_util(i,6)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(20, 15)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$	Cnnam_Pabs(20, 15) = 1.05
$Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$	Cnnam_Pabs(10, 15) = 0.95
$Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$	Cnnam_Pabs(25, 15)=1.10
$Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$	Cnnam_Pabs(30, 15)= 1.15
$Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$	Cnnam_Pabs(5, 15)=0.90
$Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	

Tableau 186 : PAC air ambiant/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4.4 PAC eau de nappe / eau (Sys_Thermo_Ecs = 4)

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.4.4.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC eau de nappe / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (eau de nappe)			
	Θretour	5	10	15	20
	Θdépart	2	7	12	17
	Θamont >	3.5	8.5	13.5	18.5
Θaval	priorité	2	1	3	4
5	7				
15	5				
25	3				
35	2				
45	1				
55	4				
65	6				

Figure 129 : Matrice de performance des PAC eau de nappe / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 8,5°C ; Θaval = 45 °C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : 8.5 °C 2 : 3.5 °C, 8.5 °C 3 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5 °C 4 : 3.5 °C, 8.5 °C, 13.5 °C, 18.5 °C

Tableau 187 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau de nappe / eau (ECS)

8.23.3.4.4.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,2).

8.23.3.4.4.2 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$ $Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$ $Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$ $Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$ $Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$ $Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	Cnnam_ECS(3.5, 8.5) = 0.9 Cnnam_ECS(13.5, 8.5) = 1.1 Cnnam_ECS(18.5, 8.5)= 1.2

Tableau 188 : PAC eau de nappe/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier selon la procédure décrite dans l'équation (1310) du §8.23.3.4.1.3;

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {COP_util(i,1)} = 0

{COP_util(i,1)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(3.5, 8.5)

si {COP_util(i,3)} = 0 (1314)

{COP_util(i,3)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(13.5, 8.5)

si {COP_util(i,4)} = 0

{COP_util(i,4)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(18.5, 8.5)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$ $Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$ $Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$ $Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$ $Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$ $Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	Cnnam_Pabs(3.5, 8.5) = 0.95 Cnnam_Pabs(13.5, 8.5) = 1.05 Cnnam_Pabs(18.5, 8.5)=0.90

Tableau 189 : PAC eau de nappe/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4.5 PAC sol / eau (Sys_Thermo_Ecs = 5)

IdFluide_amont = 3: sol;

Val_Util_Max = 3,0

8.23.3.4.5.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC sol / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (sol)			
	Θamont >	-4	1.5	4	6.5
Θaval	priorité	3	2	1	4
5	7				
15	5				
25	3				
35	2				
45	1				
55	4				
65	6				

Figure 130 : Matrice de performance des PAC sol / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 4 °C ; Θaval = 45°C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : 4°C 2 : 1,5°C ; 4°C 3 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C 4 : -4°C ; 1,5°C ; 4°C ; 6,5°C

Tableau 190 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC sol / eau (ECS)

8.23.3.4.5.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,2).

8.23.3.4.5.2 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$ $Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$ $Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$ $Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$ $Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$ $Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	$Cnnam_{\_COP}(-1;5 ; 4) = 0,95$ $Cnnam_{\_COP}(-4 ; 4) = 0,8$ $Cnnam_{\_COP}(6,5 ; 4)= 1,07$

Tableau 191 : PAC sol/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier selon la procédure décrite dans l'équation (1310) du §8.23.3.4.1.3;

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

  si {COP_util(i,1)} = 0

  {COP_util(i,1)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(-4 ; 4)

  si {COP_util(i,2)} = 0 (1315)

  {COP_util(i,2)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(-1;5 ; 4)

  si {COP_util(i,4)} = 0

  {COP_util(i,4)} = {COP_util(i,3)} × Cnnam_COP(6,5 ; 4)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$ $Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$ $Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$ $Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$ $Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$ $Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	$Cnnam_{\_COP}(-1;5 ; 4) = 1$ $Cnnam_{\_COP}(-4 ; 4) = 1$ $Cnnam_{\_COP}(6,5 ; 4)= 1$

Tableau 192 : PAC sol/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.4.6 PAC eau glycolée / eau (Sys_Thermo_Ecs = 6)

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.4.6.1 Format de matrice de performance

La matrice de performances des PAC eau glycolée / eau (ECS) est la suivante.

		Θamont (eau glycolée)				
	Θretour	-5	0	5	10	15
	Θdépart	-8	-3	2	7	12
	Θamont	**-6.5**	**-1.5**	**3.5**	**8.5**	**13.5**
Θaval	priorité	4	1	2	3	5
5	7					
15	5					
25	3					
35	2					
45	1					
55	4					
65	6					

Figure 131 : Matrice de performance des PAC eau glycolée / eau (ECS)

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = -1,5°C ; Θaval = 45°C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Ecs* et *M_θ_Amont_Ecs*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Ecs*
1 : 45°C 2 : 45°C, 35 °C, 3 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 4 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 5 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 6 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 7 : 45°C, 35 °C, 25 °C, 55 °C, 15 °C, 65 °C, 5 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Ecs*
1 : -1.5 °C 2 : -1.5 °C, 3.5 °C 3 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5°C 4 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5 °C, -6.5°C 5 : -1.5 °C, 3.5 °C, 8.5 °C, -6.5°C, 13.5 °C

Tableau 193 : ordre de saisie des températures aval et amont des PAC eau glycolée / eau (ECS)

8.23.3.4.6.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (5,2).

8.23.3.4.6.2 Calcul des valeurs par défaut

Les COP non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_COP}(35,45) = 1.2$ $Cnnav_{\_COP}(25,45) = 1.4$ $Cnnav_{\_COP}(55,45) = 0.8$ $Cnnav_{\_COP}(15,45) = 1.6$ $Cnnav_{\_COP}(65,45) = 0.6$ $Cnnav_{\_COP}(5,45) = 1.8$	Cnnam_COP(3.5, -1.5) = 1.10 Cnnam_COP(8.5, -1.5) = 1.20 Cnnam_COP(-6.5, -1.5)= 0.90 Cnnam_COP(13.5, -1.5)= 1.30

Tableau 194 : PAC eau glycolée/eau (ECS), coefficients Cnn pour le COP

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier selon la procédure décrite dans l'équation (1310) du §8.23.3.4.1.3;

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {COP_util(i,1)} = 0

{COP_util(i,1)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(-6.5, -1.5)

si {COP_util(i,3)} = 0

{COP_util(i,3)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(3.5, -1.5) (1316)

si {COP_util(i,4)} = 0

{COP_util(i,4)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(8.5, -1.5)

si {COP_util(i,5)} = 0

{COP_util(i,5)} = {COP_util(i,2)} × Cnnam_COP(13.5, -1.5)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {COP_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants (indépendants de la puissance thermique maximale) :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(35,45) = 1.10$ $Cnnav_{\_Pabs}(25,45) = 1.20$ $Cnnav_{\_Pabs}(55,45) = 0.90$ $Cnnav_{\_Pabs}(15,45) = 1.30$ $Cnnav_{\_Pabs}(65,45) = 0.80$ $Cnnav_{\_Pabs}(5,45) = 1.40$	Cnnam_Pabs(3.5, -1.5) = 1.05 Cnnam_Pabs(8.5, -1.5) = 1.10 Cnnam_Pabs(-6.5, -1.5)=0.95 Cnnam_Pabs(13.5, -1.5)= 1.15

Tableau 195 : PAC eau glycolée/eau (ECS), coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5 *Création des matrices de performance à pleine charge en mode refroidissement*

8.23.3.5.1 Refroidisseurs air extérieur/ eau (Sys_Thermo_Fr = 1)

IdFluide_aval = 2: air;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 2,7

8.23.3.5.1.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs air extérieur / eau est la suivante :

				Θamont (air extérieur)				
Θaval(eau)			Θamont	5	15	25	35	45
Θdépart	Θretour	Θaval	priorité	4	3	2	1	5
1.5	6.5	4	5					
7	12	9.5	1					
12.5	17.5	15	3					
18	23	20.5	2					
23.5	28.5	26	4					

Figure 132 : Matrice de performance des refroidisseurs air extérieur / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 35 °C ; Θaval = 9.5 °C .

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 9.5 °C 2 : 9.5°C, 20.5°C, 3 : 9.5°C, 15 °C, 20.5°C 4 : 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C 5 : 4°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 35 °C 2 : 25 °C, 35 °C 3 : 15 °C, 25 °C, 35 °C 4 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C 5 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C

Tableau 196 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs air extérieur/ eau

8.23.3.5.1.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,4).

8.23.3.5.1.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(20.5, 9.5) = 1.15$	$Cnnam_{\_EER}(25, 35) = 1.2$
$Cnnav_{\_EER}(15, 9.5) = 1.075$	$Cnnam_{\_EER}(15, 35) = 1.4$
$Cnnav_{\_EER}(26, 9.5) = 1.225$	$Cnnam_{\_EER}(5, 35)=1.6$
$Cnnav_{\_EER}(4, 9.5) = 0.9$	$Cnnam_{\_EER}(45, 35)= 0.8$

Tableau 197 : refroidisseurs air extérieur/eau , coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(1,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(1,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(4, 9.5) \\
&\text{si } \{EER_util(3,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(3,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_\ EER(15, 9.5) \\
&\text{si } \{EER_util(4,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(4,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_\ EER(20.5, 9.5) \\
&\text{si } \{EER_util(5,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(5,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_\ EER(26, 9.5)
\end{aligned} \tag{1317}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,2)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(15, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,3)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(25, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,5)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(45, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,1)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(5, 35)
\end{aligned} \tag{1318}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(20.5, 9.5) = 1.11$	$Cnnam_{\_Pabs}(25, 35) = 1.1$
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 9.5) = 1.055$	$Cnnam_{\_Pabs}(15, 35) = 1.2$
$Cnnav_{\_Pabs}(26, 9.5) = 1.165$	$Cnnam_{\_Pabs}(5, 35)=1.3$
$Cnnav_{\_Pabs}(4, 9.5) = 0.945$	$Cnnam_{\_Pabs}(45, 35)= 0.9$

Tableau 198 : refroidisseurs air extérieur/eau, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.2 Refroidisseurs air extérieur / air recyclé (Sys_Thermo_Fr = 2)

IdFluide_aval = 2: air;

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 2,7

8.23.3.5.2.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs air extérieur / air recyclé est la suivante :

		Θamont (air extérieur)				
	Θamont	5	15	25	35	45
Θaval	priorité	4	3	2	1	5
22	2					
27	1					
32	3					
37	4					

Figure 133 : Matrice de performance des refroidisseurs air extérieur / air recyclé

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 35°C ; Θaval = 27°C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 27°C 2 : 22°C, 27°C 3 : 22°C, 27°C, 32 °C 4 : 22°C, 27°C, 32 °C, 37 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 35 °C 2 : 25 °C, 35 °C 3 : 15 °C, 25 °C, 35 °C 4 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C 5 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C

Tableau 199 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs air extérieur / air recyclé

8.23.3.5.2.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,4).

8.23.3.5.2.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(22, 27) = 0.9$	$Cnnam_{\_EER}(25, 35) = 1.2$
$Cnnav_{\_EER}(32, 27) = 1.075$	$Cnnam_{\_EER}(15, 35) = 1.4$
$Cnnav_{\_EER}(37, 27) = 1.15$	$Cnnam_{\_EER}(5, 35)=1.6$
	$Cnnam_{\_EER}(45, 35)= 0.8$

Tableau 200 : refroidisseurs air extérieur / air recyclé , coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(1,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(1,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(22, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(4,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(4,3)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(32, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(4,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(4,4)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(37, 27)
\end{aligned} \tag{1319}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(i,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,2)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(15, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,3)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(25, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,5)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,5)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(45, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,1)\} = \{EER_util(i,4)\} \times Cnnam_EER(5, 35)
\end{aligned} \tag{1320}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(22, 27) = 0.95$	$Cnnam_{\_Pabs}(25, 35) = 1.1$
$Cnnav_{\_Pabs}(32, 27) = 1.05$	$Cnnam_{\_Pabs}(15, 35) = 1.2$
$Cnnav_{\_Pabs}(37, 27) = 1.1$	$Cnnam_{\_Pabs}(5, 35)=1.3$
	$Cnnam_{\_Pabs}(45, 35)= 0.9$

Tableau 201 : refroidisseurs air extérieur / air recyclé, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.3 Refroidisseurs air extrait / air neuf (Sys_Thermo_Fr = 3)

IdFluide_aval = 2: air;

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 2,7

8.23.3.5.3.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs air extrait / air neuf est la suivante :

		Θamont (air extrait)			
	Θamont	22	27	32	37
Θaval (air neuf)	priorité	3	1	2	4
5	5				
15	4				
25	2				
35	1				
45	3				

Figure 134 : Matrice de performance des refroidisseurs air extrait / air neuf

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 27°C ; Θaval = 35°C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 35 °C 2 : 25 °C, 35 °C 3 : 15 °C, 25 °C, 35 °C 4 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C 5 : 5 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 27°C 2 : 22°C, 27°C 3 : 22°C, 27°C, 32 °C 4 : 22°C, 27°C, 32 °C, 37 °C

Tableau 202 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs air extrait / air neuf

8.23.3.5.3.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (4,2).

8.23.3.5.3.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(25,35) = 0.9$	$Cnnam_{\_EER}(32, 27) = 0.9$
$Cnnav_{\_EER}(45,35) = 1.2$	$Cnnam_{\_EER}(22, 27) = 1.075$
$Cnnav_{\_EER}(15,35) = 0.8$	$Cnnam_{\_EER}(37, 27) = 0.8$
$Cnnav_{\_EER}(5,35) = 0.7$	

Tableau 203 : refroidisseurs air extrait / air neuf, coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(1,2)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(5, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(2,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(2,2)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(15, 35) \\
&\text{si } \{EER_util(2,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(2,3)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(25\ 35) \\
&\text{si } \{EER_util(5,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(5,2)\} = \{EER_util(2,4)\} \times Cnnav_EER(45, 35)
\end{aligned} \tag{1321}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,1)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_EER(22, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,3)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_EER(32, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,4)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_EER(37, 27)
\end{aligned} \tag{1322}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(25,35) = 0.9$	$Cnnam_{\_Pabs}(32\ 27) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(45,35) = 1.2$	$Cnnam_{\_Pabs}(22, 27) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(15,35) = 0.8$	$Cnnam_{\_Pabs}(37, 27)=0.9$
$Cnnav_{\_Pabs}(5,35) = 0.7$	

Tableau 204 : refroidisseurs air extrait / air neuf, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.4 Refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau (Sys_Thermo_Fr = 4)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 2: eau;

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.5.4.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau est la suivante :

				Θamont (eau)				
			Θretour	0	10	20	30	40
			Θdépart	5	15	25	35	45
Θaval (eau)			Θamont >	2.5	12.5	22.5	32.5	42.5
Θdépart	Θretour	Θaval	priorité	4	3	2	1	5
1.5	6.5	4	5					
7	12	9.5	1					
12.5	17.5	15	3					
18	23	20.5	2					
23.5	28.5	26	4					

Figure 135 : Matrice de performance des refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 32.5 °C ; Θaval = 9.5 °C

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 9,5 °C 2 : 9,5°C; 20,5°C; 3 : 9,5°C; 15 °C; 20,5°C 4 : 9,5°C; 15 °C; 20,5°C; 26 °C 5 : 4°C; 9,5°C; 15 °C; 20,5°C; 26 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 32,5 °C 2 : 22,5 °C; 32,5 °C 3 : 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C 4 : 2,5 °C; 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C 5 : 2,5 °C; 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C; 42,5 °C

Tableau 205 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau

8.23.3.5.4.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,4).

8.23.3.5.4.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(20.5, 9.5) = 1.15$	$Cnnam_{\_EER}(22.5, 32.5) = 1.2$
$Cnnav_{\_EER}(15, 9.5) = 1.075$	$Cnnam_{\_EER}(12.5, 32.5) = 1.4$
$Cnnav_{\_EER}(26, 9.5) = 1.225$	$Cnnam_{\_EER}(2.5, 32.5) = 1.6$
$Cnnav_{\_EER}(4, 9.5) = 0.9$	$Cnnam_{\_EER}(42.5, 32.5) = 0.8$

Tableau 206 : refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau, coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {EER_util(1,4)} = 0
{EER_util(1,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(4, 9.5)
si {EER_util(3,4)} = 0
{EER_util(3,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(15, 9.5)
si {EER_util(4,4)} = 0
{EER_util(4,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(20.5, 9.5)
si {EER_util(5,4)} = 0
{EER_util(5,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(26, 9.5) (1323)

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {EER_util(i,1)} = 0
{EER_util(i,1)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(2.5, 32.5)
si {EER_util(i,2)} = 0
{EER_util(i,2)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(12.5, 32.5)
si {EER_util(i,3)} = 0
{EER_util(i,3)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(22.5, 32.5)
si {EER_util(i,5)} = 0
{EER_util(i,5)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(42.5, 32.5) (1324)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(20.5, 9.5) = 1.11$	$Cnnav_{\_Pabs}(22.5, 32.5) = 1.10$
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 9.5) = 1.055$	$Cnnav_{\_Pabs}(12.5, 32.5) = 1.20$
$Cnnav_{\_Pabs}(26, 9.5) = 1.165$	$Cnnav_{\_Pabs}(2.5, 32.5) = 1.30$
$Cnnav_{\_Pabs}(4, 9.5) = 0.945$	$Cnnav_{\_Pabs}(42.5, 32.5) = 0.90$

Tableau 207 : refroidisseurs eau / eau ou eau glycolée / eau, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.5 Refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air (Sys_Thermo_Fr = 5)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 2,7

8.23.3.5.5.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air est la suivante :

		Θamont (eau)				
	Θretour	0	10	20	30	40
	Θdépart	5	15	25	35	45
	Θamont >	2.5	12.5	22.5	32.5	42.5
Θaval (air)	priorité	4	3	2	1	5
22	2					
27	1					
32	3					
37	4					

Figure 136 : Matrice de performance des refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 32.5 °C ; Θaval = 27 °C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 27°C 2 : 22°C, 27°C 3 : 22°C, 27°C, 32 °C 4 : 22°C, 27°C, 32 °C, 37 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 32,5 °C 2 : 22,5 °C; 32,5 °C 3 : 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C 4 : 2,5 °C; 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C 5 : 2,5 °C; 12,5 °C; 22,5 °C; 32,5 °C; 42,5 °C

Tableau 208 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air

8.23.3.5.5.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,4).

8.23.3.5.5.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(22, 27) = 0,9$	$Cnnam_{\_EER}(22,5, 32,5) = 1,2$
$Cnnav_{\_EER}(32, 27) = 1,075$	$Cnnam_{\_EER}(12,5, 32,5) = 1,4$
$Cnnav_{\_EER}(37, 27) = 1,15$	$Cnnam_{\_EER}(2,5, 32,5) = 1,6$
	$Cnnam_{\_EER}(42,5, 32,5) = 0,8$

Tableau 209 : refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air, coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {EER_util(1,4)} = 0
{EER_util(1,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(22, 27)
si {EER_util(4,3)} = 0
{EER_util(4,3)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(32, 27) (1325)
si {EER_util(4,4)} = 0
{EER_util(4,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(37, 27)

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {EER_util(i,1)} = 0
{EER_util(i,1)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(2.5, 32.5)
si {EER_util(i,2)} = 0
{EER_util(i,2)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(12.5, 32.5) (1326)
si {EER_util(i,3)} = 0
{EER_util(i,3)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(22.5, 32.5)
si {EER_util(i,5)} = 0
{EER_util(i,5)} = {EER_util(i,4)} × Cnnam_EER(42.5, 32.5)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(22 ; 27) = 0,95$	$Cnnav_{\_Pabs}(22,5 ; 32,5) = 1,10$
$Cnnav_{\_Pabs}(32 ; 27) = 1,05$	$Cnnav_{\_Pabs}(12,5 ; 32,5) = 1,20$
$Cnnav_{\_Pabs}(37 ; 27) = 1,1$	$Cnnav_{\_Pabs}(2,5 ;32,5) = 1,30$
	$Cnnav_{\_Pabs}(42,5 ; 32,5) = 0,90$

Tableau 210 : refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.6 Refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / air (Sys_Thermo_Fr = 6)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 1: air;

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.5.6.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs eau / air ou eau glycolée / air est la suivante :

		Θamont (eau de nappe ou captage)			
	Θretour	5	10	15	20
	Θdépart	10	15	20	25
	Θamont >	7.5	12.5	17.5	22.5
Θaval (air)	priorité	3	1	2	4
22	2				
27	1				
32	3				
37	4				

Figure 137 : Matrice de performance des refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / air

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 12.5 °C ; Θaval = 27 °C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 27°C 2 : 22°C, 27°C 3 : 22°C, 27°C, 32 °C 4 : 22°C, 27°C, 32 °C, 37 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 12.5 °C 2 : 12.5 °C, 17.5 °C 3 : 7.5 °C, 12.5 °C, 17.5 °C 4 : 7.5 °C, 12.5 °C, 17.5 °C, 22.5 °C

Tableau 211 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / air

8.23.3.5.6.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,2).

8.23.3.5.6.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(22, 27) = 0.9$	$Cnnam_{\_EER}(17.5, 12.5) = 0.90$
$Cnnav_{\_EER}(32, 27) = 1.075$	$Cnnam_{\_EER}(7.5, 12.5) = 1.10$
$Cnnav_{\_EER}(37, 27) = 1.15$	$Cnnam_{\_EER}(22.5, 12.5) = 0.80$

Tableau 212 : refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / air, coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(1,2)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(1,2)\} = \{EER_util(2,2)\} \times Cnnav_{_EER}(22, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(2,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(2,3)\} = \{EER_util(2,2)\} \times Cnnav_{_EER}(32, 27) \\
&\text{si } \{EER_util(2,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(2,4)\} = \{EER_util(2,2)\} \times Cnnav_{_EER}(37, 27)
\end{aligned} \tag{1327}$$

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

  Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

$$\begin{aligned}
&\text{si } \{EER_util(i,1)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,1)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_{_EER}(7.5, 12.5) \\
&\text{si } \{EER_util(i,3)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,3)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_{_EER}(17.5, 12.5) \\
&\text{si } \{EER_util(i,4)\} = 0 \\
&\qquad \{EER_util(i,4)\} = \{EER_util(i,2)\} \times Cnnam_{_EER}(22.5, 12.5)
\end{aligned} \tag{1328}$$

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(22, 27) = 0.95$	$Cnnav_{\_Pabs}(17.5, 12.5) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(32, 27) = 1.05$	$Cnnav_{\_Pabs}(7.5, 12.5) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(37, 27) = 1.1$	$Cnnav_{\_Pabs}(22.5, 12.5) = 1.10$

Tableau 213 : refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / air, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.5.7 Refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / eau (Sys_Thermo_Fr = 7)

IdFluide_aval = 1: eau;

IdFluide_amont = 1: eau de nappe (ou captage);

Val_Util_Max = 3,7

8.23.3.5.7.1 Format des matrices de performance

La matrice de performances des refroidisseurs eau de nappe ou captage / eau est la suivante :

				Θamont (eau de nappe ou captage)			
			Θretour	5	10	15	20
			Θdépart	10	15	20	25
Θaval (eau)			Θamont >	7.5	12.5	17.5	22.5
Θdépart	Θretour	Θaval	priorité	3	1	2	4
1.5	6.5	4	5				
7	12	9.5	1				
12.5	17.5	15	3				
18	23	20.5	2				
23.5	28.5	26	4				

Figure 138 : Matrice de performance des refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour θamont = 12.5 °C ; Θaval = 9.5 °C.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité imposé au travers des paramètres *M_θ_Aval_Fr* et *M_θ_Amont_Fr*, qui sont définis dans le tableau ci-dessus :

Températures aval : *M_θ_Aval_Fr*
1 : 9.5 °C 2 : 9.5°C, 20.5°C, 3 : 9.5°C, 15 °C, 20.5°C 4 : 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C 5 : 4°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C

Températures amont : *M_θ_Amont_Fr*
1 : 12.5 °C 2 : 12.5 °C, 17.5 °C 3 : 7.5 °C, 12.5 °C, 17.5 °C 4 : 7.5 °C, 12.5 °C, 17.5 °C, 22.5 °C

Tableau 214 : ordre de saisie des températures aval et amont des refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / eau

8.23.3.5.7.2 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut

On applique la procédure décrite au § 8.23.3.3.1.2 pour EER_util, à ceci près que les indices de ligne et colonne de la valeur pivot sont (2,2).

8.23.3.5.7.3 Calcul des valeurs par défaut

Les EER non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_EER}(20.5, 9.5) = 1.15$	$Cnnam_{\_EER}(17.5, 12.5) = 0.90$
$Cnnav_{\_EER}(15, 9.5) = 1.075$	$Cnnam_{\_EER}(7.5, 12.5) = 1.10$
$Cnnav_{\_EER}(26, 9.5) = 1.225$	$Cnnam_{\_EER}(22.5, 12.5) = 0.80$
$Cnnav_{\_EER}(4, 9.5) = 0.9$	

Tableau 215 : refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / eau, coefficients Cnn pour l'EER

Le calcul est mené en commençant par l'impact des températures amont (propagation sur la colonne de la valeur pivot), puis par celui des températures aval (propagation sur toutes les lignes en partant de la colonne pivot). On conserve au cours de cette procédure l'ensemble des valeurs de performance déjà définie à partir de la saisie. Ainsi :

- La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {EER_util(1,4)} = 0
{EER_util(1,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(4, 9.5)
si {EER_util(3,4)} = 0
{EER_util(3,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(15, 9.5)
si {EER_util(4,4)} = 0
{EER_util(4,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(20.5, 9.5)
si {EER_util(5,4)} = 0
{EER_util(5,4)} = {EER_util(2,4)} × Cnnav_EER(26, 9.5)

(1329)

- Ensuite, l'ensemble des autres colonnes sont complétées selon la procédure suivante :

Pour chaque ligne d'indice i allant de 1 à $N_{\theta aval}$

si {EER_util(i,1)} = 0
{EER_util(i,1)} = {EER_util(i,2)} × $Cnnam_{\_EER}(7.5, 12.5)$
si {EER_util(i,3)} = 0
{EER_util(i,3)} = {EER_util(i,2)} × $Cnnam_{\_EER}(17.5, 12.5)$
si {EER_util(i,4)} = 0
{EER_util(i,4)} = {EER_util(i,2)} × $Cnnam_{\_EER}(22.5, 12.5)$

(1330)

Pour les puissances absorbées (matrice {Pabs(i,j)}), la procédure est identique à celle de {EER_util(i,j)} décrite plus haut, avec les coefficients Cnn spécifiques suivants :

Températures aval	Températures amont
$Cnnav_{\_Pabs}(20.5, 9.5) = 1.11$	$Cnnam_{\_Pabs}(17.5, 12.5) = 0.95$
$Cnnav_{\_Pabs}(15, 9.5) = 1.055$	$Cnnam_{\_Pabs}(7.5, 12.5) = 1.05$
$Cnnav_{\_Pabs}(26, 9.5) = 1.165$	$Cnnam_{\_Pabs}(22.5, 12.5) = 1.10$
$Cnnav_{\_Pabs}(4, 9.5) = 0.945$	

Tableau 216 : refroidisseurs eau de nappe (ou captage) / eau, coefficients Cnn pour Pabs

8.23.3.6 *Définition des caractéristiques de fonctionnement à charge partielle*

8.23.3.6.1 Puissance absorbée par les auxiliaires à charge nulle

Cas d'un générateur thermodynamique mono-service :

La puissance des auxiliaires à charge nulle, $W_{aux,0}$, est une constante au cours du calcul. Elle peut être exprimée en fonction de la puissance absorbée à pleine charge au point pivot {Pabs(ipivot , jpivot)} du mode du générateur :

$$Waux,0 = Taux \times \{Pabs(ipivot , jpivot)\} \quad (1331)$$

Le paramètre Taux, est le ratio de la puissance d'auxiliaire à charge nulle sur la puissance absorbée à pleine charge au point pivot. Selon la valeur de Statut_taux, la procédure d'obtention du Taux est la suivante :

- Statut_taux = 0 : Valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation,

  La valeur de Taux saisie n'est pas corrigée.

- Statut_taux = 1 : Valeur justifiée par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation :

  La valeur de Taux saisie est multipliée par 1,1.

- Statut_taux = 2 : autres cas, valeur par défaut .

  Taux prend la valeur suivante :

  En mode chauffage ou ECS :

  Taux = 0,02 (1332)

  En mode refroidissement :

  Taux = 0,01 (1333)

Cas d'un générateur thermodynamique réversible, double service, ou triple service

$W_{aux,0}$ est un paramètre commun à l'ensemble des modes de fonctionnement. Il déterminé selon la relation (1331) en fonction de la puissance absorbée la puissance absorbée à pleine charge au point pivot {Pabs(ipivot , jpivot)} du mode chauffage.

La valeur par défaut de Taux est celle du mode chauffage (voir équation (1332)).

8.23.3.6.2 Caractéristiques Deq et Dfou0 du fonctionnement tout ou rien

Pour la caractérisation des performances à charge partielle, on introduit :

- Deq (en minutes): durée équivalente liée aux irréversibilités. Deq est conventionnellement fixée à 0,5 minutes.

- Dfou0 (en minutes) : la durée de fonctionnement à charge tendant vers 0. Elle correspond au temps nécessaire pour remonter le circuit de distribution en température quand il n'y a pas émission et que le compresseur fonctionne. Elle dépend de l'inertie de la distribution de fluide côté aval.

Les valeurs conventionnelles de Dfou0 sont données ci-dessous :

	Typo_emetteur	Dfou0 en min
Mode chauffage et/ou refroidissement	1 : Plancher et plafond chauffant ou rafraîchissants intégrés au bâti d'inertie forte	32
	2 : Radiateurs; plafonds chauffants ou rafraîchissants d'inertie moyenne	19
	3 : Ventilo convecteurs; valeur par défaut pour la distribution à eau; plafonds chauffants ou rafraichissant d'inertie faible	6
	4 : Systèmes à air	2
Mode ECS		26

Tableau 217 : Valeurs conventionnelle de Dfou0 en minutes pour différents systèmes d'émission

Cas particulier d'un générateur thermodynamique double service, ou triple service

Dans ces cas, le mode ECS est modélisé sans prise en compte des corrections associées à la charge partielle. Ainsi, les valeurs de Deq et Dfou0 ne sont pas définies pour ce mode.

Elles restent définies pour les modes chauffage et refroidissement.

8.23.3.6.3 Caractéristiques LRcontmin et CcpLRcontmin de la régulation à puissance variable

Pour les générateurs thermodynamiques à régulation de puissance variable (Fonc_compr = 1), on introduit les paramètres suivants pour chaque mode :

- LRcontmin, taux de charge minimal que peut maintenir le générateur thermodynamique pour le mode considéré (0-1)
- $Ccp_{LRcontmin}$, ratio du COP (ou de l'EER) au taux de charge LRcontmint sur le COP (resp. EER) à pleine charge (taux de charge de 1).

Pour caractériser ces paramètres, plusieurs types de saisie sont possibles.

- Statut_Fonctionnement_Continu = 0 : valeurs certifiées par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation :

  La valeur de LRcontmin et $Ccp_{LRcontmin}$ saisies ne sont pas corrigées

- Statut_Fonctionnement_Continu = 1 : valeurs justifiées par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation :

  La valeur de $LR_{contmin}$ *saisie est augmentée de 0,05.*

  La valeur de $Ccp_{LRcontmin}$ *saisie est mulitpliée par 0,9.*

- Statut_Fonctionnement_Continu = 2 : autres cas : valeur par défaut définies ci-après :

$$LR_{contmin} = 0,4 \quad (1334)$$

$$Ccp_{LRcontmin} = 1 \quad (1335)$$

Cas particulier d'un générateur thermodynamique double service, ou triple service

Dans ces cas, le mode ECS est modélisé sans prise en compte des corrections associées à la charge partielle. Ainsi, les valeurs de $LR_{contmin}$ et $Ccp_{LRcontmin}$ ne sont donc pas définies pour ce mode.

Elles restent définies pour les modes chauffage et refroidissement.

8.23.3.6.4 Vérification de cohérence

Dès lors que l'ensemble des paramètres définis dans le présent chapitre sont connus, on réalise une vérification sur la cohérence des données LRcontmin, $Ccp_{LRcontmin}$ et Taux, qui doivent rester dans un certain intervalle pour que le calcul soit cohérent :

Si $LR_{contmin} \times 0,3 < CCP_{LRcontmin} \times Taux$

Le message d'erreur suivant est renvoyé :

« Générateur thermodynamique : les données caractérisant la charge partielle du générateur thermodynamique sont en dehors des limites tolérées. Assurez vous de la cohérence des paramètres LRcontmin, CCP_LRcontmin, Pabs et Taux.'' (1336)

8.23.3.7 *Calcul des performances à chaque pas de temps h*

Cette partie concerne l'ensemble des systèmes pris en compte dans cette fiche, quel que soit leur type.

Pour un mode donné, le calcul à un pas de temps h donné est séquencé de la manière suivante :

- Calcul des performances à pleine charge, COP/EER et Pabs, en fonction des valeurs de θamont(h) et θaval(h),

- Correction de ces performances à pleine charge pour prendre en compte la charge partielle réelle du générateur en fonction du besoin à fournir pour chaque mode Qreq,ch(h), Qreq,fr(h) et Qreq,ecs(h).

Dès lors qu'un générateur thermodynamique intègre plusieurs modes, les règles suivantes sont définies :

- la production ECS est prioritaire sur le chauffage et le refroidissement. Une fois le générateur thermodynamique modélisé pour le mode ECS, le temps de fonctionnement équivalent à pleine puissance du générateur thermodynamique, Rfonctecs(h) est calculée. On en déduit le temps de fonctionnement à pleine charge disponible pour le mode chauffage ou refroidissement,

- à un pas de temps donné, il ne peut y avoir simultanénement de chauffage et de refroidissement. Dans ce cas de figure, le refroidissement est considéré comme prioritaire sur le chauffage.

8.23.3.7.1 Calcul du COP et de Pabs à pleine charge au pas de temps h

Ci-dessous sont décrits les algorithmes permettant de déterminer les indices des colonnes et lignes des matrices encadrant les valeurs de $\theta_{amont}(h)$ et $\theta_{aval}(h)$ au pas de temps h, pour un mode donné :
Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

Si $\theta_{amont}(h) < Val_{\theta amont}(1)$
$j1 = 1$
$j2 = 1$
$\theta_{am}1 = \theta_{amont}(h)$
$\theta_{am}2 = Val_{\theta amont}(1)$
Si $\theta_{amont}(h) > Val_{\theta amont}(N_{\theta amont})$
$j1 = N_{\theta amont}$
$j2 = N_{\theta amont}$
$\theta_{am}1 = Val_{\theta amont}(N_{\theta amont})$
$\theta_{am}2 = \theta_{amont}(h)$ (1337)
Sinon,
Pour j allant de 2 à $N_{\theta amont}$,
Si $\theta_{amont}(h) \leq Val_{\theta amont}(j)$, alors,
$j1 = j - 1$
$j2 = j$
$\theta_{am}1 = Val_{\theta amont}(j1)$
$\theta_{am}2 = Val_{\theta amont}(j2)$
Coupure de la boucle 'pour'

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

Si $\theta_{aval}(h) < Val_{\theta aval}(1)$
$i1 = 1$
$i2 = 1$
$\theta_{av}1 = \theta_{aval}(h)$ (1338)
$\theta_{av}2 = Val_{\theta aval}(1)$
Si $\theta_{aval}(h) > Val_{\theta aval}(N_{\theta aval})$

$i1 = N_{\theta aval}$
$i2 = N_{\theta aval}$
$\theta_{av}1 = Val_{\theta aval}(N_{\theta aval})$
$\theta_{av}2 = \theta_{aval}(h)$

Sinon,

Pour i allant de 2 à $N_{\theta aval}$,

Si $\theta_{aval}(h) \leq Val_{\theta aval}(i_l)$, alors,

$i1 = i - 1$
$i2 = i$
$\theta_{av}1 = Val_{\theta aval}(i1)$
$\theta_{av}2 = Val_{\theta aval}(i2)$

Coupure de la boucle 'pour'

Calculs des coefficients d'interpolation

On déduit de la procédure précédente les valeurs de coefficients d'interpolation à chaque pas de temps :

$$C_{\theta am}(h) = \frac{\theta_{amont}(h) - \theta_{am}1}{\theta_{am}2 - \theta_{am}1}$$

$$C_{\theta av}(h) = \frac{\theta_{aval}(h) - \theta_{av}1}{\theta_{av}2 - \theta_{av}1} \quad (1339)$$

Calcul du coefficient de performance à pleine charge (COP ou EER) et de la puissance absorbée :

$$\begin{aligned} &Pabs\_pc(h) = \\ &(1 - C_{\theta am}(h)) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{Pabs(i1, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{Pabs(i1, j2)\} \\ &+ C_{\theta av}(h) \times (1 - C_{\theta am}(h)) \times \{Pabs(i2, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times C_{\theta av}(h) \times \{Pabs(i2, j2)\} \end{aligned} \quad (1340)$$

Pour un générateur thermodynamique en mode chauffage ou ECS :

$$\begin{aligned} &COP\_pc(h) = \\ &(1 - C_{\theta am}(h)) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{COP\_util(i1, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{COP\_util(i1, j2)\} \\ &+ C_{\theta av}(h) \times (1 - C_{\theta am}(h)) \times \{COP\_util(i2, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times C_{\theta av}(h) \times \{COP\_util(i2, j2)\} \end{aligned} \quad (1341)$$

Pour un générateur thermodynamique en mode refroidissement :

$$\begin{aligned} &EER\_pc(h) = \\ &(1 - C_{\theta am}(h)) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{EER\_util(i1, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times (1 - C_{\theta av}(h)) \times \{EER\_util(i1, j2)\} \\ &+ C_{\theta av}(h) \times (1 - C_{\theta am}(h)) \times \{EER\_util(i2, j1)\} \\ &+ C_{\theta am}(h) \times C_{\theta av}(h) \times \{EER\_util(i2, j2)\} \end{aligned} \quad (1342)$$

8.23.3.7.2 Calcul de la puissance fournie à pleine charge

Les puissances fournies à pleine charge en conditions non nominales sont égales au produit de la puissance absorbée et du COP.

Si la puissance requise par le réseau est supérieure à la puissance disponible, l'énergie restante est en sortie de ce module. Elle pourra alors être fournie par un générateur d'appoint ou reportée au pas de temps suivant.

En mode chauffage ou ECS :

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pabs\_pc(h) \times COP\_pc(h) \quad (1343)$$

En mode refroidissement :

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pabs\_pc(h) \times EER\_pc(h) \quad (1344)$$

Cas particulier des générateurs thermodynamiques en sur air extrait (Sys_Thermo_Ch = 3, Sys _Thermo_ECS = 2 ou Sys_Thermo_Fr = 3) :

Dans le cas des générateurs thermodynamiques sur air extrait en mode ECS ou chauffage, la puissance que peut fournir la machine est limitée par la capacité d'échange de chaleur de la source amont. Ainsi, la puissance maximale dans les conditions non nominales de sources est calculée comme suit :

En mode chauffage ou ECS :

$$Pfou\_pc\_brut\ (h) = \min\ \{Pabs\_pc(h) \times COP\_pc(h)\ ;\ Pprev_{\_source\_amont\_maxi}(h)) \quad (1345)$$

En mode refroidissement :

$$Pfou\_pc\_brut(h) = \min\ \{Pabs\_pc(h) \times EER\_pc(h)\ ;\ Pfou_{\_source\_amont\_maxi}(h)) \quad (1346)$$

$Pfou_{\_source\_amont\_maxi}(h)$ est la puissance maximale qui peut être fournie compte tenu du COP_pc et des caractéristiques de l'air extrait. Elle est fonction de la valeur de COP_pc(h) (ou EER_pc(h)). Son calcul est décrit dans la fiche C_Gen_Source_Amont.

Cas particulier des générateurs réversibles (catégorie Generateur_Thermodynamique_Elec_Reversible) :

Dans le cas des générateurs réversibles, le générateur ne peut fonctionner que dans l'un des modes, chauffage ou refroidissement, à un pas de temps donné.

Le mode refroidissement est considéré comme prioritaire : si le générateur thermodynamique doit fonctionner en mode refroidissement, soit Qreq,fr(h) > 0 Wh, sa puissance Pfou_pc_brut (h) en mode chauffage est fixée à à 0 W.

Cas particulier des générateurs thermodynamiques double-service ou triple-service (catégories Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_DoubleService ou TripleService) :

Dans le cas des générateurs double service, le générateur peut fonctionner séquentiellement en mode ECS et en mode chauffage à un pas de temps donné. Le mode ECS est considéré comme prioritaire : ce mode est donc traité en premier lieu, avant de traiter le mode chauffage.

La puissance thermique disponible en mode chauffage est limitée par le temps de fonctionnement en mode ECS, Rat_Fonct_ECS(h) :

Pour le mode chauffage :

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pabs\_pc(h) \times COP\_pc(h) \times (1 - Rat\_Fonct\_ECS(h)) \quad (1347)$$

Dans le cas des générateurs triple service, le générateur peut fonctionner séquentiellement en mode ECS puis en mode chauffage, ou séquentiellement en mode ECS puis en mode refroidissement à un pas de temps donné. La même règle que pour les générateurs double service est donc appliquée. Pour le cas d'un pas de temps avec fonctionnement en mode ECS puis refroidissement, l'équation (1347) ci-dessus est corrigée pour

prendre en compte le fait que le basculement entre le mode ECS et le mode refroidissement nécessite un délai supplémentaire. Ce délai est représenté par la constante $Rat_{basc,ECS/FR}$, fixée à 0,25 (soit 15 minutes), dans l'équation ci-dessous :

Pour le mode refroidissement :

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pabs\_pc(h) \times COP\_pc(h) \times \left(1 - Rat_{Fonct,ECS}(h) - Rat_{basc,ECS/FR}\right) \quad (1348)$$

Par contre, le générateur ne peut pas fonctionner à la fois en chauffage et en refroidissement, à un pas de temps donné. Tout comme pour les générateurs réversibles, le mode refroidissement est alors considéré comme prioritaire sur le mode chauffage : si le générateur thermodynamique doit fonctionner en mode refroidissement, soit Qreq,fr(h) > 0 Wh, sa puissance Pfou_pc_brut (h) en mode chauffage est fixée à à 0 W.

8.23.3.7.3 Prise en compte des températures limites de fonctionnement du générateur

Il convient de calculer la quantité d'énergie requise pour chaque machine :

$$Q_{Req_{act}}(h) = \frac{Q_{req}(h)}{Rdim} \quad (1349)$$

<u>En mode chauffage et/ou ECS :</u>

Les conditions de fonctionnement possibles sont définies par le constructeur. Elles s'expriment en termes de valeur haute de la température départ aval Theta_max_av et valeur basse de température amont Theta_min_am, ou en combinaison de deux valeurs.

Par exemple, Theta_max_av = 40 °C indique que la machine ne peut pas fonctionner si la température départ réseau est supérieure à 40 °C. Ceci indique un manque de cohérence entre la caractéristique du réseau et des émetteurs et la machine. La machine ne fonctionne alors pas et un générateur d'appoint doit être utilisé.

Par exemple, Theta_min_am = -7°C indique que la machine ne fonctionne pas si la température extérieure est inférieure à -7 °C. Un appoint est alors nécessaire pour ces conditions.

(Theta_max_av = 40°C, Theta_min_am = -7°C) indique que la machine ne fonctionne pas si les deux conditions sont simultanément remplies. Un appoint est alors nécessaire pour ces conditions.

Algorithmiquement, cela se traduit de la façon suivante :

Si Lim_Theta = 0

Pfou_pc(h) = Pfou_pc_brut (h)

Q_{rest_act} (h) = MAX(0; Q_{req_act} (h) - Pfou_pc(h))

Sinon si Lim_Theta = 1 **et** si θ_{amont}(h) < Theta_min_am **ou** si $\theta_{aval}(h)$ > Theta_max_av

Q_{rest_act} (h) = Q_{req_act} (h) (1350)

Pfou_pc(h) = 0

Sinon si Lim_Theta = 2 **et** si θ_{amont}(h) < Theta_min_am **et** si $\theta_{aval}(h)$ > Theta_max_av

Q_{rest_act} (h) = Q_{req_act} (h)

Pfou_pc(h) = 0

<u>En mode refroidissement :</u>

Les conditions de fonctionnement possibles sont définies par le constructeur. Elles s'expriment en termes de valeur basse de la température départ aval Theta_min_av et valeur haute de température amont Theta_max_am, ou en combinaison de deux valeurs.

Par exemple, Theta_min_av = 5 °C indique que la machine ne peut pas fonctionner si la température départ

réseau est inférieure à 5 °C. Ceci indique un manque de cohérence entre la caractéristique du réseau et des émetteurs et la machine. La machine ne fonctionne alors pas.

Par exemple, Theta_max_am = 40°C indique que la machine ne fonctionne pas si la température extérieure est supérieure à 40 °C.

(Theta_min_av = 5°C, Theta_max_am = 40°C) indique que la machine ne fonctionne pas si les deux conditions sont simultanément remplies.

Algorithmiquement, cela se traduit de la façon suivante :

Si Lim_Theta = 0 (pas de limites sur les températures de source :

$Pfou\_pc(h) = Pfou\_pc\_brut(h)$

$Q_{rest\_act}(h) = MAX(0 ; Q_{req\_act}(h) - Pfou\_pc(h))$

Sinon si Lim_Theta = 1 **et** si $\theta_{amont}(h) > Theta\_max\_am$ **ou** si $\theta_{aval}(h) < Theta\_min\_av$

$Q_{rest\_act} = Q_{req\_act}$

$Pfou\_pc(h) = 0$ (W) (1351)

Sinon si Lim_Theta = 2

si $\theta_{amont}(h) > Theta\_max\_am$ **et** si $\theta_{aval}(h) < Theta\_min\_av$

$Q_{rest\_act}(h) = Q_{req\_act}(h)$

$Pfou\_pc(h) = 0$ (W)

8.23.3.7.4 Calcul des performances à charge partielle non-nulle : cas général

Le calcul de la puissance absorbée à charge partielle, $P_{abs,LR}(h)$, du générateur thermodynamique est réalisé indépendamment pour chacun des modes utilisés au pas de temps h.

Pour chaque mode, cette puissance absorbée est la somme des trois contributions suivantes :

- la puissance absorbée par le compresseur et les auxiliaires intégrés à la machine dont la puissance évolue conjointement à celle du compresseur, Pcomp(h),
- la puissance absorbée équivalente du compresseur résultant des irréversibilités lors des phases d'arrêt - démarrage, Pcompma(h),
- la puissance absorbée par les auxiliaires du générateur thermodynamique à charge nulle, W_aux,0.

Le comportement à charge partielle d'une machine dépend de la technologie de régulation de puissance :

- machine à régulation de puissance tout ou rien (Fonc_compr = 2): le compresseur va fonctionner de façon cyclique sur toute la plage des charges partielles,
- machine à modulation de puissance variable (Fonc_compr = 1): dans un premier temps, le compresseur va s'adapter à la charge, puis, si la charge diminue en dessous de la valeur correspondant au niveau de charge du compresseur, celui-ci va fonctionner par cycles comme dans la machine précédente.

On introduit LR(h), le taux de charge du générateur thermodynamique pour le mode considéré :

$$P_{fouLR}(h) = MIN\left(Q_{reqact}(h); P_{fouPC}(h)\right) \quad (1352)$$

$$LR(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{fou,PC}(h)} \quad (1353)$$

Note : si $P_{fou,PC}(h)$ est nul, LR(h) est pris égale à 0.

8.23.3.7.4.1 Cas d'une machine à à régulation de puissance tout ou rien (Fonc_compr = 2)

Le compresseur fonctionne en cycles marche – arrêt pour réguler la puissance fournie.

On isole d'abord le calcul des puissances absorbées par le compresseur et les auxiliaires intégrés à la machine dont la puissance évolue conjointement à celle du compresseur :

$$P_{comp-pc}(h) = P_{abs-pc}(h) - W_{aux-0} \quad (1354)$$

$$P_{comp_{LR}}(h) = P_{comp-pc}(h) \,.\, LR(h) \quad (1355)$$

La puissance absorbée moyenne liée aux irréversibilités, Pcompma(h), est calculée selon la relation suivante :

$$P_{compma-LR}(h) = P_{comp-pc}(h) \,.\, \frac{Deq \,.\, (LR(h)) \,.\, (1 - LR(h))}{Dfou0} \quad (1356)$$

Finalement, la puissance absorbée moyenne à charge partielle, P_abs-LR(h), est la suivante :

$$P_{abs-LR}(h) = P_{comp_{LR}}(h) + P_{compma-LR}(h) + W_{aux-0} \quad (1357)$$

$$COP_{LR}(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{abs-LR}(h)} \quad (1358)$$

Le calcul en mode refroidissement est identique, à ceci prêt que COP_{LR} est remplacé par EER_{LR}.

8.23.3.7.4.2 Cas d'une machine à à régulation de puissance variable (Fonc_compr = 1)

Dans ce cas, le COP (ou l'EER) « net », c'est-à-dire calculé sur la base de la consommation hors auxiliaires à charge nulle, varie linéairement en fonction de la charge dans la plage de fonctionnement continu. On commence donc par le calcul de ce COP net :

$$P_{comp-pc}(h) = P_{abs-pc}(h) - W_{aux-0} \quad (1359)$$

$$COP_{pc_{net}}(h) = \frac{P_{fou\_pc\_brut}(h)}{P_{comp-pc}(h)} \quad (1360)$$

La plage de fonctionnement continu est comprise entre un taux de charge égale à LRcontmin et la pleine charge (taux de charge de 100%). Au taux de charge LRcontmin, la majoration du COP par rapport au COP à pleine charge est égale à $CCP_{LRcontmin}$. On convertit également ce coefficient en $CCP_{LRcontmin,net}$:

$$CCP_{LRcontmin_{net}}(h) = \frac{LR_{contmin} \,.\, P_{comp_{pc}}(h) \,.\, CCP_{LRcontmin}}{LR_{contmin} \,.\, P_{abs_{pc}}(h) - CCP_{LRcontmin} \,.\, W_{aux-0}} \quad (1361)$$

Si LR(h) est compris entre $LR_{contmin}$ et 1, a puissance absorbée et le COP à charge partielle se calculent selon la procédure suivante :

$$COP_{LR-net}(h) = COP_{pc-net}(h) \,.\, \left(1 + \left[CCP_{LRcontmin\_net} - 1\right] \,.\, \frac{1 - LR(h)}{1 - LR_{contmin}}\right) \quad (1362)$$

$$P_{comp_{LR}}(h) = \frac{P_{fou_{LR}}(h)}{COP_{LR_{net}}(h)} \quad (1363)$$

$$P_{abs_{LR}}(h) = P_{comp_{LR}}(h) + W_{aux-0} \quad (1364)$$

$$COP_{LR}(h) = \frac{P_{fou_{LR}}(h)}{P_{abs_{LR}}(h)} \quad (1365)$$

Sinon, (LR(h) < $LR_{contmin}$)

La puissance absorbée par le compresseur, $P_{comp}(h)$, varie linéairement entre 0 pour LR = 0 et $P_{comp\_LRcontmin}$ pour LR = $LR_{contmin}$:

$$P_{fou-LRcontmint}(h) = P_{fou\_pc\_brut}(h) \times LR_{contmin} \quad (1366)$$

$$P_{comp_{LRcontmin}}(h) = \frac{P_{fou_{LRcontmin}}(h)}{COP_{LRcontmin_{net}}(h)} \quad (1367)$$

$$P_{comp_{LR}}(h) = P_{comp_{LRcontmin}}(h) . \left(1 - \frac{LR_{contmin} - LR\ (h)}{LR_{contmin}}\right) \quad (1368)$$

La puissance absorbée moyenne liée aux irréversibilités, Pcompma(h), est calculée selon la relation suivante :

$$LR_{cycl}(h) = \frac{LR(h)}{LR_{contmin}} \quad (1369)$$

$$P_{compma_{LR}}(h) = P_{comp_{LRcontmin}}(h) . \frac{Deq . \left(LR_{cycl}(h)\right) . (1 - LR_{cycl}(h))}{Dfou0} \quad (1370)$$

Finalement, la puissance absorbée moyenne à charge partielle, P_abs-LR(h), est la suivante :

$$P_{abs-LR}(h) = P_{comp_{LR}}(h) + P_{compma-LR}(h) + W_{aux-0} \quad (1371)$$

$$COP_{LR}(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{abs-LR}(h)} \quad (1372)$$

Le calcul en mode refroidissement est identique, à ceci prêt que COP_{LR} est remplacé par EER_{LR}.

8.23.3.7.5 Calcul des performances à charge partielle ou nulle : cas particulier du mode ECS dans le cas des générateurs double service et triple service

Dans le cas d'un générateur double ou triple service, (catégories Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_DoubleService ou TripleService), le générateur peut fonctionner à la fois en ECS et chauffage, ou à la fois en ECS et refroidissement à un pas de temps donné. On fait alors l'hypothèse que le générateur va fonctionner à pleine charge en mode production ECS pendant une partie du pas de temps, de manière à ce que le temps de disponibilité pour le mode chauffage ou refroidissement soit le plus élevé possible. Ainsi, le mode ECS est modélisé sans prendre en compte l'impact d'un fonctionnement à charge partielle :

Une telle logique de fonctionnement est schématisée ci-dessous dans le cas d'un générateur thermodynamique double service :

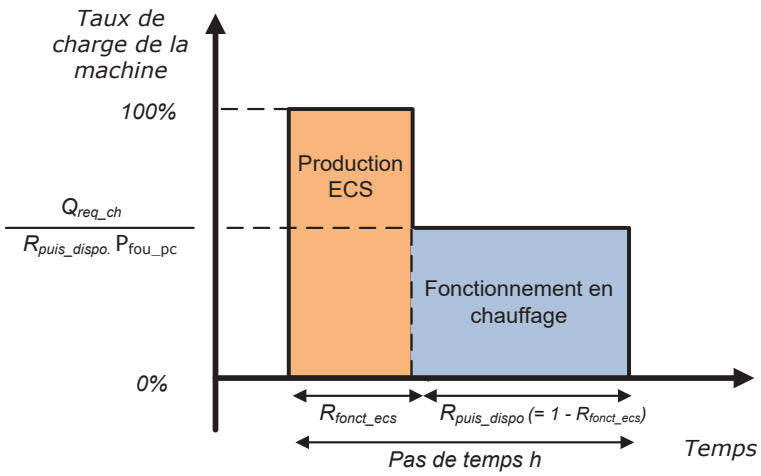


Figure 139: sous-décomposition d'un pas de temps pour un générateur thermodynamique double service

En termes algorithmique, pour le mode ECS, les équations du §8.23.3.7.4 sont remplacées par les suivantes :

$$P_{fouLR}(h) = MIN\left(Q_{reqact}(h); P_{fouPC}(h)\right) \quad (1373)$$

$$LR(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{fou,PC}(h)} \quad (1374)$$

Note : si $P_{fou,PC}(h)$ est nul, LR(h) est pris égale à 0.

Si $id_{\_ecs,seule}(h)$ = faux (1375)

$$P_{abs-LR}(h) = P_{abs-PC}(h)$$

Si $id_{\_ecs,seule}(h)$ = vrai (1376)

$$P_{abs-LR}(h) = P_{abs-PC}(h) + (1 - LR(h)).W_{aux-0}$$

$$COP_{LR}(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{abs-LR}(h)} \quad (1377)$$

Pour le mode chauffage ou refroidissement, le §8.23.3.7.4 reste applicable. La limitation de la puissance disponible liée au temps de fonctionnement réduit a déjà été traitée au §8.23.3.7.2.

8.23.3.7.6 Fonctionnement à charge nulle ($Q_{req}(h) = 0$) ou en dehors des limites de fonctionnement ($P_{fou\_pc}(h) = 0$)

Cas d'un générateur thermodynamique mono service :

Dès lors que le générateur La puissance absorbée est égale à la puissance d'auxiliaires à charge nulle :

$$P_{abs-LR}(h) = W_{aux-0} \quad (1378)$$

Du fait des conditions mises en place dans la fiche C_Gen_Gestion-régulation de la génération, cette puissance absorbée n'est comptabilisée qu'au cours de la saison de chauffage si le générateur est mono-service chauffage ou qu'au cours de la saison de refroidissement si le générateur est mono-service refroidissement.

Cas particulier des générateurs réversibles (catégorie Generateur_Thermodynamique_Elec_Reversible) :

Dans ce cas de figure, la puissance absorbée par les auxiliaires à charge nulle n'est comptabilisée que pour un seul des deux modes. Ainsi, du fait des conditions mises en place dans la fiche C_Gen_Gestion-régulation de la génération, cette puissance absorbée est comptabilisée :

- pour le mode chauffage au cours de la saison de chauffage ou une saison mixte (chauffage et refroidissement permis),
- pour le mode refroidissement, au cours de la saison de refroidissement.

Cas particulier des générateurs thermodynamiques double service (catégorie Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_DoubleService) :

Dans ce cas de figure, la puissance absorbée par les auxiliaires à charge nulle n'est comptabilisée qu'une seule fois pour l'ensemble des modes. Ainsi, du fait des conditions mises en place dans la fiche C_Gen_Gestion-régulation de la génération, cette puissance absorbée est comptabilisée :

- pour la production ECS en dehors de la saison de chauffage (i_{ECS_seule}(h) = vrai),
- pour le mode chauffage au cours de la saison de chauffage (i_{ECS_seule}(h) = faux).

Par ailleurs, au cours de la saison de chauffage, dès lors que $Q_{req,ecs}$(h) est non-nul mais $Q_{req,ch}$(h) est nul, on comptabilise une puissance absorbée à charge nulle uniquement pour la fraction du pas de temps correspondant au mode chauffage :

$$P_{abs-LR}(h) = (1 - Rat\_Fonct\_ECS(h)).\ W_{aux-0} \quad (1379)$$

Cas particulier des générateurs thermodynamiques triple service (catégorie Source_Ballon_Base_Thermodynamique_Elec_ TripleService) :

Dans ce cas de figure, la puissance absorbée par les auxiliaires à charge nulle n'est comptabilisée que pour un seul mode. Ainsi, du fait des conditions mises en place dans la fiche C_Gen_Gestion-régulation de la génération, cette puissance absorbée est comptabilisée :

- pour la production ECS en dehors de la saison de chauffage (i_{ECS_seule}(h) = vrai).
- pour le mode chauffage au cours de la saison de chauffage (i_{ECS_seule}(h) = faux et saison de chauffage),
- pour le mode rerfoidissement au cours de la saison de refroidissement (i_{ECS_seule}(h) = faux et saison de refroidissement).

Par ailleurs, au cours de la saison de chauffage, dès lors que $Q_{req,ecs}$(h) est non-nul mais $Q_{req,ch}$(h) est nul, on comptabilise une puissance absorbée à charge nulle uniquement pour la fraction du pas de temps correspondant au mode chauffage.:

$$P_{abs-LR}(h) = (1 - Rat\_Fonct\_ECS(h)).\ W_{aux-0} \quad (1380)$$

Même chose au cours de la saison de refroidissement, dès lors que $Q_{req,ecs}$(h) est non-nul mais $Q_{req,fr}$(h) est nul : on comptabilise une puissance absorbée à charge nulle uniquement pour la fraction du pas de temps correspondant au mode refroidissement, selon l'équation (1380).

8.23.3.7.7 Calcul des données de sortie à l'issue du traitement d'un mode

A l'issue du calcul de chaque mode, avant de passer au mode suivant, on calcule les données de sortie spécifiques à ce mode. Le calcul est décrit pour le mode chauffage, mais il est identique pour les modes ECS et refroidissement :

$$Q_{cef\text{-}ch(id\_engen)}(\mathrm{h}) = P_{abs\_LR}(h) \times Rdim \quad (1381)$$

$$\eta_{eff,ch}(h) = COP_{LR}(h) \text{ (resp. } EER_{LR}(h) \text{ pour le mode refroidissement)} \quad (1382)$$

$$Q_{fou-ch}(h) = P_{fouLR}(h) \times Rdim \quad (1383)$$

$$Q_{rest-ch}(h) = Q_{rest,act}(h) \times Rdim \quad (1384)$$

$$\tau_{charge\text{-}ch}(\mathrm{h}) = LR(h) \quad (1385)$$

La quantité d'énergie rejetée représente la quantité d'énergie échangée avec la source amont. Elle est comptabilisée négativement en chauffage et ECS, et positivement en froid. Aussi le calcul diffère selon le mode :

Mode chauffage :

$$\varphi_{rejet,ch}(h) = MIN(0\,; P_{comp\_LR} + P_{compma\_LR} - P_{fou\_LR}) \times R\,dim \quad (Wh) \quad (1386)$$

Mode ECS :

$$\varphi_{rejet,ecs}(h) = MIN(0\,; P_{comp\_LR} + P_{compma\_LR} - P_{fou\_LR}) \times R\,dim \quad (Wh) \quad (1387)$$

Mode refroidissement :

$$\varphi_{rejet,fr}(h) = (P_{comp\_LR} + P_{compma\_LR} + P_{fou\_LR}) \times R\,dim \quad (Wh) \quad (1388)$$

8.23.3.7.8 Calcul final des données de sortie pour le générateur

A l'issue du calcul de l'ensemble des modes, les données de sortie globale du générateur sont calculées :

<u>Quantité d'énergie fournie par le générateur tous postes confondus :</u>

$$Q_{fou}(h) = Q_{fou-ch}(h) + Q_{fou-ecs}(h) + Q_{fou-fr}(h) \quad (1389)$$

<u>Quantité d'énergie consommée par le générateur tous postes confondus :</u>

$$Q_{cons}(h) = \sum_{id\_engen} \left(Q_{cefch(id-engen)}(\mathrm{h}) + Q_{cef,ecs(id-engen)}(\mathrm{h}) + Q_{ceffr(id-engen)}(\mathrm{h}) \right) \quad (1390)$$

$$W_{aux,pro}(h) = W_{aux-0} \times Rdim \quad (1391)$$

<u>Quantité d'énergie rejetée à la source amont :</u>

La quantité d'énergie rejetée, $\psi_{rejet}(\mathrm{h})$ totale est la somme des quantités d'énergie rejetées dans les différents

modes :

$$\varphi_{rejet}(h) = \varphi_{rejet,ch}(h) + \varphi_{rejet,ecs}(h) + \varphi_{rejet,fr}(h) \qquad (Wh) \qquad (1392)$$

En pratique, dans les cas où le générateur thermodynamique ne peut pas fonctionner au pas de temps h à la fois chauffage (ou ECS) et en refroidissement, il ne peut pas y avoir de pas de temps où les trois rejets sont non-nuls simultanément. Seules les rejets en mode chauffage et ECS s'additionnent.

8.24 C_GEN_THERMODYNAMIQUE_GAZ

8.24.1 INTRODUCTION

Cette fiche permet de calculer les performances des systèmes thermodynamiques à absorption au gaz sur vecteur eau en fonctionnement chauffage (GAHP), y compris la production indirecte d'ECS et en fonctionnement refroidissement (refroidisseur de liquide).

Pour la production d'ECS, les machines comportent obligatoirement un ballon de stockage.

Elle permet de représenter plusieurs machines identiques fonctionnant dans le même mode.

En fonction de la puissance requise par l'émetteur ou par le réseau de distribution, les valeurs calculées sont :

- $GUE_{ch\ ou\ ECS}$ (ou GUE_{fr}) (Gas Utilisation Efficiency - aussi appelé RUG pour Rendement d'Utilisation du Gaz – dans EN 12309-2 d'août 2000) ;
- puissance gaz absorbée pour la ou les fonctions principales (chauffage et ECS) ;
- puissance électrique absorbée par les auxiliaires[11] ;
- pertes thermiques récupérables dans l'ambiance si le générateur est utilisé à l'intérieur d'un volume chauffé.

Le rendement Rdt_{np} de la fonction non principale (chauffage) des refroidisseurs de liquide, les puissances gaz et électriques absorbées et les pertes thermiques récupérables correspondantes feront l'objet d'un titre V.

Le calcul pour une machine est mené en deux étapes :

1. Calcul en fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales des températures de sources,
2. Prise en compte de la charge partielle.

[11] Les auxiliaires concernés sont ceux pris en compte pour le calcul du COP (EER) d'un générateur thermodynamique à compression entrainé par un moteur électrique.

8.24.2 NOMENCLATURE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{amont}(h)$	température de la source amont	°C
$\theta_{aval}(h)$	température de la source aval (vers les émetteurs ou les ballons)	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance de la génération (selon sa position en volume chauffé/refroidi ou non).	°C
$Q_{req}(h)$	énergie requise par le réseau	W
$Id_{fonction}$	mode de fonctionnement : 1 : chauffage 2 : refroidissement 3 : ECS	entier

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Pour une machine				
Idfougen	Type de générateur : Chauffage = 1, froid = 2, ECS = 3				
Cat_gen	Catégorie de générateur : 504 PAC à absorption	entier	-	-	
Syst_Thermo_FR	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement refroidissement : 1 : refroidisseurs air / eau 2 : refroidisseurs eau / eau	entier	1	-	-
Syst_Thermo_CH	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement chauffage : 1 : GAHP air / eau classique 2 : GAHP air / eau haute température 3 : GAHP eau glycolée / eau classique 4/ GAHP eau glycolée / eau haute température 5 : GAHP eau / eau	entier	1	-	-
Syst_Thermo_ECS	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement ECS : 1 : GAHP air / eau classique 2 : GAHP eau glycolée / eau classique 3 : GAHP eau / eau	entier	1	-	-
Fonc_brûl	1 : Fonctionnement en mode continu du brûleur ou en cycles marche arrêt 2 : Fonctionnement en cycles marche arrêt du brûleur	entier	1	2	-
$Id_{echangeur}$	Indicateur de présence d'un échangeur eau/fumées en chauffage ou ECS : *0 : absence d'échangeur,* *1 : présence d'échangeur*	entier	0	1	
{ValGUEch(Icol,Ilign)}	matrice des performances en mode chauffage (GUE) selon les températures amont et aval	-	-	-	-
{ValGUEfr(Icol,Ilign)}	matrice des performances en mode refroidissement selon les températures amont et aval	-	-	-	-
{ValGUEec	matrice des performances en mode ECS selon les	-	-	-	-

s(Icol,Ilign)}	températures amont et aval				
{ValPabs(icol,Ilign)}	matrice des puissances absorbées selon les températures amont et aval	W	-	-	-
{ValCOR(Icol,Ilign)}	matrice de correction des performances justifiées entrées sous forme de matrice	-	-	-	-
{ValPauxpc(Icol,Ilign)}	matrice des puissances d'auxiliaires selon les températures amont et aval à pleine charge en chauffage, on distingue la même matrice en mode refroidissement et en mode ECS	W	-	-	-
Paux0	Puissances d'auxiliaires à charge nulle	W	0	+∞	-
ValGUEch_pivot	valeur pivot déclarée des machines en mode chauffage lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	-	-	-	-
ValGUEfr_pivot	valeur pivot déclarée des machines en mode refroidissement lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	-	-	-	-
ValPauxchpc_pivot	valeur pivot déclarée de la puissance des auxiliaires à pleine charge des machines en mode chauffage lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée. On distingue la même variable en refroidissement et en ECS	W	-	-	-
ValECS_pivot	valeur pivot déclarée des machines en mode ECS lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	-	-	-	-
ValPabs_pivot	valeur pivot déclarée de puissance lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	W	-	-	-
Statut_donnees	1 : il existe des valeurs de performance certifiées ou mesurées 2 : il n'existe aucune valeur certifiée ou mesurée	entier	1	-	-
statut_valeur_pivot	1 : valeur déclarée 2 : valeur par défaut	entier	1	-	-
statut_Paux_pivot	1 : valeur déclarée 2 : valeur par défaut pour les auxiliaires	entier	1	-	-
$Theta\_max_{\_av}$	température maximale aval en mode chaud au delà de laquelle la machine ne peut fonctionner	°C	-	-	-
$Theta\_min_{\_am}$	température minimale amont en mode chaud en dessous de laquelle la machine ne peut fonctionner	°C	-	-	-
$Theta\_min_{\_av}$	température minimale aval en mode froid en-dessous de laquelle la machine ne peut fonctionner	°C	-	-	-
$Theta\_max_{\_am}$	température maximale amont en mode froid au-dessus de laquelle la machine ne peut fonctionner	°C	-	-	-
Lim_Theta	0 = pas de limite 1= limite sur l'une **ou** l'autre des températures de source 2 = limite sur l'une **et** l'autre des températures de source	entier	1	-	-
$Ccp_{LRcontmin}$	coefficient de correction de la performance pour un taux de charge égal à $LR_{contmin}$	-	0	+∞	-
$LR_{contmin}$	Taux minimal de charge en fonctionnement continu. (= 1 si machine tout ou rien)	-	-	1	-
Deq	durée équivalente liée aux irréversibilités	minutes	0	-	Voir Table au 228
Rdt_{comb_pivot}	rendement sur PCI de combustion du gaz dans les conditions pivot	-	0	+∞	-
$Pertes_{40°C}$	Pertes de la machine durant les phases arrêt mesurées pour 40°C d'écart entre la température de machine et la température d'ambiance (volume chauffé/refroidi ou non-chauffé/non-refroidi).	W	0	+∞	-
Idengen	Identificateur de l'énergie principale (gaz(=10),	entier	10	69	10

	fuel(=20), charbon(=30) bois(=40) électricité(=50), réseau(=60)
IdFluide_aval	identificateur du fluide aval : 1 eau, 2 air

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Typo_emetteur	Inertie du système de distribution en fonction des émetteurs en chauffage, en refroidissement et pour la production d'ECS : 1 : forte : plancher ou plafond intégré au bâti, 2 : moyenne : radiateur, plafond d'inertie moyenne, 3 : légère : VCV, plancher et plafond d'inertie faible, 4 : très légère : systèmes à air, 5 : production d'ECS.	-	1	5	-
R_{dim}	Nombre de machines identiques dans le même mode	entier	1	-	
Type_cycle_FR	1 : machine à cycle simple effet ou GAX 2 : machine à cycle double effet	entier	1	2	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Pfou_(h)	Energie totale effectivement fournie par le générateur au pas de temps h.	Wh
$Q_{rest(h)}$	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh
$\{Q_{cef(fonct.;en.)}(h)\}$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}. Les lignes correspondent aux différents postes (6), les colonnes aux différentes sources d'énergie (6).	Wh
Idalerte1(h)	Alerte pour conditions de fonctionnement hors limite de puissance court terme	entier
$W_{aux,pro}(h)$	consommation des auxiliaires au pas h	W
$\eta_{eff}(h)$	GUE ou rendement du générateur.	Réel
τ_{charge}	taux de charge du générateur	Réel
Φ_{rejet}	Rejet du générateur thermodynamique au pas de temps h (valeur positive en refroidissement).	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
	Pour une machine	
Val_util_max	valeur maximale de la performance pour la valeur pivot d'une machine lorsqu'il n'y a pas de valeurs certifiées ou justifiées. si $Idf_{onction}$ = 1 (chauffage) Syst_Thermo_CH = 1 : Val_util_max = 1.51 2 : Val_util_max = 1.51 3 : Val_util_max = 1.51 4 : Val_util_max = 1.51 5 : Val_util_max = 1.65 si $Idf_{onction}$ = 2 (refroidissement) Type_cycle_FR = 1 et Syst_Thermo_FR 1 : Val_util_max = 0.7	-

2 : Val_util_max = 0.7
Type_cycle_FR = 2 et Syst_Thermo_FR
1 : Val_util_max = 1.0
2 : Val_util_max = 1.0

si $Idf_{onction}$ = 3 (ECS)
Syst_Thermo_ECS =
1 : Val_util_max = 1.13
2 : Val_util_max = 1.13
3 : Val_util_max = 1.13

$Cnnav_{\_Pabs}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la puissance à pleine charge en fonction de la température aval	réel
$Cnnam_{\_Pabs}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la puissance à pleine charge en fonction de la température amont	réel
$Cnnav_{\_GUEch}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la performance à pleine charge en fonction de la température aval en mode chaud	réel
$Cnnam_{\_GUEch}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la performance à pleine charge en fonction de la température amont en mode chaud	réel
$Cnnav_{\_GUEfr}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la performance à pleine charge en fonction de la température aval en mode froid	réel
$Cnnam_{\_GUEfr}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la performance à pleine charge en fonction de la température amont en mode froid	réel
$Cnnav_{\_Paux}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la puissance électrique auxiliaire à pleine charge en fonction de la température aval en mode froid	réel
$Cnnam_{\_Paux}(t1, t2)$	Coefficient de correction de la puissance électrique auxiliaire à pleine charge en fonction de la température amont en mode froid	réel
$Val_{\theta amont}(i_{\theta amont})$	Température amont	°C
$Val_{\theta aval}(i_{\theta aval})$	Température aval	°C
$N_{\theta amont}$	Nombre de températures amont	entier
$N_{\theta aval}$	Nombre de températures aval	entier
$i_{\theta am}1$ $i_{\theta am}2$	variables intermédiaires du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	entier
$\theta_{am}1$	variable intermédiaire du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	°C
$\theta_{am}2$	variable intermédiaire du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	°C
$i_{\theta av}1$ $i_{\theta av}2$	variables intermédiaires du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	entier
$\theta_{av}1$	variable intermédiaire du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	°C
$\theta_{av}2$	variable intermédiaire du calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	°C
$C_{\theta am}(h)$	coefficient d'interpolation pour le calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	réel
$C_{\theta av}(h)$	coefficient d'interpolation pour le calcul de la performance à pleine charge à partir des matrices de performance	réel
$GUEch_{\_pc(h)}$	GUE à pleine charge aux conditions non nominales en mode chauffage	réel
$GUEfr_{\_pc(h)}$	GUE à pleine charge aux conditions non nominales en	réel

	mode refoidissement	
$GUEecs_{\_pc(h)}$	GUE à pleine charge aux conditions non nominales en mode ECS	réel
$Pabs_{\_pc(h)}$	Puissance absorbée à pleine charge aux conditions non nominales	réel
$Pgaz_{cons\_pc}$	Puissance gaz consommée à pleine charge aux conditions non nominales. On distingue la même variable en charge partielle	W
$Pgaz_{cons\_pc\_pivot}$	Puissance gaz consommée à pleine charge aux conditions non nominales pour la valeur pivot.	W
Acont	Pente de la droite d'évolution de Ccp en mode continu du brûleur.	réel
Pgaz	puissance gaz du brûleur en fonctionnement établi	W
Pgazma	puissance équivalente résultant des pertes lors des phases arrêt/démarrage	W
P_{fou_pc}	Puissance maximale que peut fournir le générateur dans les conditions de températures amont et aval au pas de temps *h*.	W
$Pfou_{\_LR}$	puissance fournie à charge partielle	W
LR	taux de charge	réel
pc	en indice signifie à pleine puissance	-
net	en indice signifie hors auxiliaires	-
contmin	en indice signifie pour le taux minimal de charge en fonctionnement continu du brûleur	-
Ccp_{LR}	correction de la performance en fonction de la charge en fonctionnment continu du brûleur	réel
Pertes	Pertes de la machine durant les phases arrêt pour l'écart effectif entre la température de machine et la température d'ambiance (volume chauffé/refroidi ou non-chauffé/non-refroidi).	W
Paux	puissance appelée par les auxiliaires	W
Pcons	puissance appelée par la machine	W
cycl	en indice signifie en fonctionnement discontinu (marche arrêt)	
ValGUE_pivot_inter	intermédiaire de correction des valeurs pivot en mode chauffage. On a aussi ValGUE_pivot_inter, ValECS_pivot_inter respectivement pour les modes refroidissement et ECS	
ValPaux_pivot_inter	intermédiaire de correction des valeurs pivot en mode chauffage pour les auxiliaires.	
$Qreq_{act}$	Energie requise pour une machine	W
$Qrest_{act}$	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant, pour un générateur.	Wh
T_{cyc}	durée d'un cycle marche arrêt du brûleur pour un taux de charge donné	minutes
Dfou0	durée de fonctionnement à charge tendant vers 0	minutes

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_{pa}	Chaleur massique de l'air	J/K/kg	1006

Tableau 218 : Nomenclature du modèle

8.24.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La modélisation du fonctionnement passe par deux étapes :

1) Le fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales de sources,
2) Le fonctionnement à charge partielle ou nulle.

8.24.3.1 ***Généralités***

Le $GUE_{ch\ ou\ ECS}$ (GUE_{fr}), les puissances absorbées à pleine charge et la puissance électrique des auxiliaires sont renseignés à l'aide de matrices en fonction des températures à l'amont et à l'aval de la machine. Ces températures dépendent du type de machine et du mode de fonctionnement.

Les matrices sont remplies une fois en début de calcul.

Au cours du calcul, c'est-à-dire à chaque pas de temps, le $GUE_{ch\ ou\ ECS}$ (GUE_{fr}) à pleine charge aux conditions de températures réelles des sources amont et aval sont obtenus par interpolation linéaire par rapport aux températures de référence amont et aval définies par technologie dans les matrices.

Les puissances absorbées (gaz et électricité) à pleine charge sont obtenues par interpolation linéaire par rapport aux mêmes températures.

- Pour le $GUE_{ch\ ou\ ECS}$ (GUE_{fr})

Chaque matrice est construite autour d'une valeur pivot, valeur correspondant aux conditions nominales de sources.

La valeur pivot est issue de données :

- certifiées : la valeur utilisée dans le calcul est la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base de la norme NF EN 12309-2,
- justifiées par un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme NF EN 12309-2 : la valeur de calcul est égale à 0.9* valeur justifiée,
- déclarée : la valeur utilisée dans le calcul est égale à min (0.8 Valeur déclarée ; Val_util_max),
- par défaut : la valeur utilisée dans le calcul est égale à (0.8 Val_util_max).

Val_util_max est définie par type de machine.

Les autres valeurs de la matrice sont issues de données :

- certifiées : la valeur utilisée dans le calcul est la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base de la norme NF EN 12309-2,
- justifiées par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme NF EN 12309-2 : la valeur de calcul est égale à 0.9* valeur justifiée,

- par défaut calculées à l'aide de coefficients explicités dans le chapitre réservé à chacune des technologies.

Les données certifiées et les données justifiées sont fournies par l'utilisateur selon une régle de priorité définie par type de machine :

La fourniture des valeurs mesurées doit en outre respecter l'ensemble des configurations amont/aval. Par exemple, dans le cas des machines air / eau en mode chauffage, si des points sont fournis concernant Taval = 45°C et 50°C et Tamont -7°C et 7°C, les GUE déclarés doivent être fournis pour les 4 couples Taval/Tamont.

L'entrée des données des matrices et la correction des données sont les suivantes :

- Statut_données = 1

  entrée dans la matrice des données certifiées, des données justifiées lorsqu'elles sont disponibles,

  entrée d'un paramètre qui indique, pour chaque valeur entrée précédement, si c'est une valeur certifiée, une valeur justifiée. Ce paramètre est rangé dans une matrice semblable à la matrice des données, {ValCOR(icol, ilign)} qui contient la valeur 1 chaque fois que la performances correspondante dans la matrice de performance est une valeur certifiée, 2 pour une valeur justifiée.

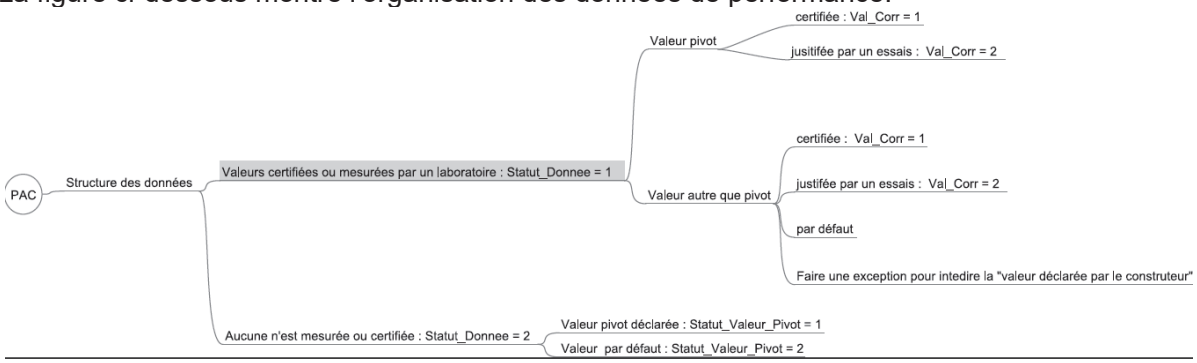
  la correction est faite automatiquement.

  les autres cases de la matrice de performances seront complétées par des valeurs par défaut, l'utilisateur n'ayant pas la possibilité de rentrer une valeur déclarée pour une performance autre que la valeur pivot.

- Statut_données = 2

  on entre la valeur pivot, uniquement si Statut_valeur_Pivot = 1. Si Statut_valeur_Pivot = 1 c'est une valeur déclarée, si Statut_valeur_Pivot = 2 c'est une valeur par défaut qui n'est pas entrée.

La figure ci-dessous montre l'organisation des données de performance.



Les températures prises en compte sont la moyenne des températures départ et retour pour le vecteur eau et la température d'entrée pour le vecteur air.

- Pour la puissance absorbée

La puissance absorbée est le débit calorifique.

A l'instar des GUE, les puissances absorbées en conditions non nominales à pleine charge peuvent résulter d'essais ou de valeurs par défaut.

Les puissances absorbées mesurées doivent correspondre aux cas fournis pour les valeurs des GUE. Dans l'exemple, la valeur 7, 45 est donc obligatoirement fournie.

- Statut_données = 1

Les valeurs prises en compte sont les valeurs résultant des essais, sans modification. Les autres valeurs sont des valeurs par défaut.

- Statut_données = 2

On entre seulement la valeur Pivot sans modification. Les autres valeurs sont des valeurs par défaut.

- Pour les puissances électriques absorbées

La puissance électrique des auxillaires est la puissance des auxillaires internes de la machine (contrôle commande, brûleur, pompe de solution), ainsi que tout ou partie de la puissance des auxilliares affectés au déplacement des médiums en contact extérieur avec l'évaporateur et le condenseur, selon le type de machine.

La puissance est issue de données :

- certifiées : la valeur utilisée dans le calcul est la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation,
- justifiées par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation : la valeur de calcul est égale à 1,1* valeur mesurée,
- valeur pivot déclarée : pour la machine air/eau classique la valeur utilisée dans le calcul pour la valeur pivot est égale à max (1,2* valeur déclarée ; 0,0416 * Pgazcons_pc_pivot). Pour les autres machines voir les chapitres par technologie.
- pivot par défaut : pour la machine air/eau classique la valeur utilisée dans le calcul est égale à max(500 ; 0,05 Pgazcons_pc_pivot). Pour les autres machines voir les chapitres par technologie.
- par défaut les autres valeurs sont calculées à l'aide des coefficients explicités pour chacune des machines.

L'entrée des données et leur correction se fait sur le même principe que les performances.

Note : le type de fluide amont doit être en cohérence avec le type de machine.

8.24.3.2 *Calcul pour une machine*

Il convient de calculer l'énergie requise pour chaque machine ainsi que le débit d'air extrait pour chaque machine fonctionnant sur air extrait.

$$Q_{Req\_act} = \frac{Q_{Req(h)}}{Rdim} \quad (1393)$$

8.24.3.3 *Fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales en mode chauffage (Idfonction = 1)*

8.24.3.3.1 GAHP air / eau classique

Syst_Thermo_CH = 1

Idfougen = 1 IdFluide_aval = 1

8.24.3.3.1.1 Détermination des GUE_{ch}

La matrice de performances (GUE_{ch}) des machines air / eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4	Cnn aval	
35	25	30	4						1,05	30/35
40	30	35	3						1,15	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	2						0,95	50/45
		Cnn amont		0,9	0,85	0,95	1	1,15		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 140 : Matrice de performance des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
45°C
45°C et 50°C
45°C et 50°C, 35°C
45°C et 50°C, 35°C, 30°C

Températures amont
7 °C
- 7 °C, 7 °C
-7°C, 2°C, 7°C
-7°C, 2°C; 7°C, 20°C
-15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 219 : Températures aux sources

8.24.3.3.1.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) = ı\ , ValGUEch(icol, ilign) = ValGUEch(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) = ˇ\ , ValGUEch(icol, ilign) = ValGUEch(icol, ilign)$*0,9

Si statut_données = 2

Si statut_valeur_pivot = 1

$ValGUE\_pivot\_inter = \min\{0{,}8*ValGUEch_{pivot}; Val\_util\_max\}$

$ValGUEch(4,3) = ValGUE\_pivot\_inter$

Si statut_valeur_pivot = 2

$ValGUE\_pivot\_inter = 0{,}8 * Val\_util\_max$

$ValGUEch(4,3) = ValGUE\_pivot\_inter$

8.24.3.3.1.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(4,2)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(4,2)} = 0

{ValGUEch(4,2)} = {ValGUEch(4,3)} * $Cnnav_{GUEch}$(35, 45)

si {ValGUEch(4,1)} = 0

{ValGUEch(4,1)} = {ValGUEch(4,2)}

si {ValGUEch(4,4)} = 0

{ValGUEch(4,4)} = {ValGUEch(4,3)} * $Cnnav_{GUEch}$(50, 45)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * $Cnnam_{GUEch}$(2, 7)

si {ValGUEch(2,Ilign)} = 0

{VaGUEch(2,Ilign)} = {ValGUEch(3,Ilign)} * $Cnnam_{GUEch}$(-7, 2)

si {ValGUEch(1,Ilign)} = 0

{ValGUEch(1,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * $Cnnam_{GUEch}$(-15, -7)

si {ValGUEch(5,1)} = 0

{ValGUEch(5,1)} = {ValGUEch(4,1)}

si {ValGUEch(5,2)} = 0

{ValGUEch(5,2)} = {ValGUEch(4,2)}

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * $Cnnam_{GUEch}$(20, 7)

8.24.3.3.1.1.3 ***Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps***

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

Si $\theta_{amont}(h) < Val_{\theta amont}(1)$ *(gestion des conditions hors limites de la matrice par le bas, mais on fait cependant le calcul avec les valeurs basses).* ***Envoyer un message d'alerte dans un fichier.***

$i_{\theta am}1 = 1$

$i_{\theta am}2 = 1$

$\theta_{am}1 = \theta_{amont}(h)$

$\theta_{am}2 = Val_{\theta amont}(1)$

Si $\theta_{amont}(h) > Val_{\theta amont}(N_{\theta amont})$ *(gestion des conditions hors limites de la matrice par le haut mais on fait cependant le calcul avec les valeurs hautes).* ***Envoyer un message d'alerte dans un fichier.***

$i_{\theta am}1 = N_{\theta amont}$

$i_{\theta am}2 = N_{\theta amont}$

$\theta_{am}1 = Val_{\theta amont}(N_{\theta amont})$

$\theta_{am}2 = \theta_{amont}(h)$

Sinon,

Pour $i_{\theta amont}$ *allant de 2 à* $N_{\theta amont}$,

Si $\theta_{amont}(h) \leq Val_{\theta amont}(i_{\theta amont})$, alors,

$i_{\theta am}1 = i_{\theta amont} - 1$

$i_{\theta am}2 = i_{\theta amont}$

$\theta_{am}1 = Val_{\theta amont}(i_{\theta am}1)$

$\theta_{am}2 = Val_{\theta amont}(i_{\theta am}2)$

Coupure de la boucle 'pour'

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

Si $\theta_{aval}(h) < Val_{\theta aval}(1)$ *(gestion des conditions hors limites de la matrice par le bas, mais on fait cependant le calcul avec les valeurs basses)*

$i_{\theta av}1 = 1$

$i_{\theta av}1 = 1$

$\theta_{av}1 = \theta_{aval}(h)$

$\theta_{av}2 = Val_{\theta aval}(1)$

Si $\theta_{aval}(h) > Val_{\theta aval}(N_{\theta aval})$ *(gestion des conditions hors limites de la matrice par le haut mais on fait cependant le calcul avec les valeurs hautes)*

$i_{\theta av}1 = N_{\theta aval}$

$i_{\theta av}2 = N_{\theta aval}$

$\theta_{av}1 = Val_{\theta aval}(N_{\theta aval})$

$\theta_{av}2 = \theta_{aval}(h)$

Sinon,

Pour $i_{\theta aval}$ allant de 2 à $N_{\theta aval}$,

Si $\theta_{aval}(h) \leq Val_{\theta aval}(i_{\theta aval})$, alors,

$i_{\theta av}1 = i_{\theta aval} - 1$

$i_{\theta av}2 = i_{\theta aval}$

$\theta_{av}1 = Val_{\theta aval}(i_{\theta av}1)$

$\theta_{av}2 = Val_{\theta aval}(i_{\theta av}2)$

Coupure de la boucle 'pour'

Calculs des coefficients d'interpolation

$$C_{\theta am}(h) = \frac{\theta_{amont}(h) - \theta_{am}1}{\theta_{am}2 - \theta_{am}1} \qquad C_{\theta av}(h) = \frac{\theta_{aval}(h) - \theta_{av}1}{\theta_{av}2 - \theta_{av}1}$$

Calcul de la performance

GUEch_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValGUEch($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValGUEch($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValGUEch($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValGUEch($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.3.1.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines air / eau est la suivante :

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	4						1	30/35
40	30	35	3						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	2						1	50/45
				1	1,03	1,06	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 141 : Matrice des puissances absorbées pour les machine air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

8.24.3.3.1.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(4,2)} = 0

{ValPabs (4,2)} = {ValPabs (4,3)} * $Cnnav_{Pabs}(35, 45)$

si {ValPabs (4,1)} = 0

{ValPabs (4,1)} = {ValPabs (4,2)} * $Cnnav_{Pabs}(30, 35)$

si {ValPabs (4,4)} = 0

{ValPabs (4,4)} = {ValPabs (4,3)} * $Cnnav_{Pabs}(50, 45)$

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValCOP(3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(2, 7)$

si {ValPabs (2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(-7, 2)$

si {ValPabs (1,Ilign)} = 0

{ValPabs (1,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(-15, -7)$

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(20, 7)$

8.24.3.3.1.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Pgazcons\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.1.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en chauffage Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP air /eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	4						1	30/35
40	30	35	3						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	2						1	50/45
				1	1	1	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 142 : Matrice de performance des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.3.1.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1,2*ValPauxch_{pivot}; 0,0416*ValPabs(4,3)\}$$

$$ValPauxch(4,3) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(500\ ;\ 0,05 * ValPabs(4,3)$$

$$ValPauxch(4,3) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.3.1.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(4,2)} = 0

{ValPaux(4,2)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(35, 45)$

si {ValPaux(4,1)} = 0

{ValPaux(4,1)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{\_Paux}(30, 35)$

si {ValPaux(4,4)} = 0

{ValPaux(4,4)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(50, 45)$

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(2, 7)$

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(-7, 2)$

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(-15, -7)$

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(20, 7)$

8.24.3.3.1.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.1.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

Les puissances fournies à pleine charge en conditions non nominales sont égales au produit de la puissance gaz absorbée et du GUE.

Si la puissance requise par le réseau est supérieure à la puissance disponible, l'énergie restante est en sortie de ce module. Elle pourra alors être fournie par un générateur d'appoint ou reportée au pas de temps suivant.

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pgazcons\ \_pc(h) * GUEch\_pc(h)$$

si Lim_Theta = 0

$Pfou\_pc(h) = Pfou\_pc\_brut(h)$

$Q_{rest\_act} = \max\{0;\ Q_{req\_act} - Pfou\_pc(h)\}$

sinon si Lim_Theta = 1 **et** si $\theta_{amont}(h) < Theta\_min\_am$ **ou** si $\theta_{aval}(h) > Theta\_max\_av$

$Q_{rest\_act} = Q_{req\_act}$

$Pfou\_pc(h) = 0$

sinon si Lim_Theta = 2 **et** si $\theta_{amont}(h) < Theta\_min\_am$ **et** si $\theta_{aval}(h) > Theta\_max\_av$

$Q_{rest\_act} = Q_{req\_act}$

$Pfou\_pc(h) = 0$

8.24.3.3.1.5 Limites de fonctionnement

Les conditions de fonctionnement possibles sont définies par le constructeur. Elles s'expriment en termes de valeur haute de la température départ aval Theta_max_av et valeur basse de température amont Theta_min_am, ou en combinaison de deux valeurs.

Par exemple, Theta_max_av = 40 °C indique que la machine ne peut pas fonctionner si la température départ réseau est supérieure à 40 °C. Ceci indique un manque de cohérence entre la caractéristique du réseau et des émetteurs et la machine. La machine ne fonctionne alors pas et un générateur d'appoint doit être utilisé.

Par exemple, Theta_min_am = -7°C indique que la machine ne fonctionne pas si la température extérieure est inférieur à -7 °C. Un appoint est alors nécessaire pour ces conditions.

(Theta_max_av = 40°C, Theta_min_am = -7°C) indique que la machine ne fonctionne pas si les deux conditions sont simultanément remplies. Un appoint est alors nécessaire pour ces conditions.

8.24.3.3.2 GAHP air / eau haute température

Syst_Thermo_CH = 2

Idfougen = 1 IdFluide_aval = 1

8.24.3.3.2.1 Détermination des GUE_{ch}

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4	Cnn	
35	25	30	4						1,05	30/35
40	30	35	3						1,15	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						0,95	50/45
65	55	60	2						0,8	60/50
		Cnn amont		0,9	0,85	0,95	1	1,15		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 143 : Matrice de performance des machines air / eau haute température

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
45°C
45°C, 60°C
45°C, 60°C, 35°C
45°C, 60°C, 35°C, 30°C
45°C, 60°C, 35°C, 30°C, 50°C

Températures amont
7 °C
- 7 °C, 7 °C
-7°C, 2°C, 7°C
-7°C, 2°C; 7°C, 20°C
-15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 220 : Températures aux sources

8.24.3.3.2.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

on applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.1 Si statut_données = 2 $ValGUEch(4,3) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.3.2.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(4,2)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(4,2)} = 0

{ValGUEch(4,2)} = {ValGUEch(4,3)} * Cnnav_GUEch(35, 45)

si {ValGUEch(4,1)} = 0

{ValGUEch(4,1)} = {ValGUEch(4,2)}

si {ValGUEch(4,4)} = 0

{ValGUEch(4,4)} = {ValGUEch(4,3)} * Cnnav_GUEch(50, 45)

si {ValGUEch(4,5)} = 0

{ValGUEch(4,5)} = {ValGUEch(4,4)} * Cnnav_GUEch(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * Cnnam_GUEch(2, 7)

si {ValGUEch(2,Ilign)} = 0

{VaGUEch(2,Ilign)} = {ValGUEch(3,Ilign)} * Cnnam_GUEch(-7, 2)

si {ValGUEch(1,Ilign)} = 0

{ValGUEch(1,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * Cnnam_GUEch(-15, -7)

si {ValGUEch(5,1)} = 0

{ValGUEch(5,1)} = {ValGUEch(4,1)}

si {ValGUEch(5,2)} = 0

{ValGUEch(5,2)} = {ValGUEch(4,2)}

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * Cnnam_GUEch(20, 7)

8.24.3.3.2.1.3 Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

GUEch_pc(h) = $(1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\}$
$+ C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.2.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines air / eau est la suivante :

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	4						1	30/35
40	30	35	3						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						1	50/45
65	55	60	2						1	60/50
				1	1,03	1,06	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 144 : Matrice des puissances absorbées pour les machine air / eau haute température

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

8.24.3.3.2.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(4,2)} = 0

{ValPabs (4,2)} = {ValPabs (4,3)} * $Cnnav_{\_Pabs}$(35, 45)

si {ValPabs (4,1)} = 0

{ValPabs (4,1)} = {ValPabs (4,2)} * $Cnnav_{\_Pabs}$(30, 35)

si {ValPabs (4,4)} = 0

{ValPabs (4,4)} = {ValPabs (4,3)} * $Cnnav_{\_Pabs}$(50, 45)

si {ValPabs (4,5)} = 0

{ValPabs (4,5)} = {ValPabs (4,4)} * $Cnnav_{\_Pabs}$(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValCOP(3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Pabs}$(2, 7)

si {ValPabs (2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Pabs}$(-7, 2)

si {ValPabs (1,Ilign)} = 0

{ValPabs (1,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Pabs}$(-15, -7)

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Pabs}$(20, 7)

8.24.3.3.2.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Pgazcons_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.3.2.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en chauffage Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP air /eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	4						1	30/35
40	30	35	3						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						1	50/45
65	55	60	2						1	60/50
				1	1	1	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 145 : Matrice de performance des machines air / eau haute température

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.3.2.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.3.1 Si statut_données = 2 $ValPauxch(4,3) = ValPaux\_pivot\_inter$	

8.24.3.3.2.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(4,2)} = 0

{ValPaux(4,2)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{Paux}$(35, 45)

si {ValPaux(4,1)} = 0

{ValPaux(4,1)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{Paux}$(30, 35)

si {ValPaux(4,4)} = 0

{ValPaux(4,4)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{Paux}$(50, 45)

si {ValPaux(4,5)} = 0

{ValPaux(4,5)} = {ValPaux(4,4)} * $Cnnav_{Paux}$(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(2, 7)

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(-7, 2)

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(-15, -7)

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(20, 7)

8.24.3.3.2.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.2.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.3.3 GAHP eau glycolée / eau classique

Syst_Thermo_CH = 3

Idfougen = 1 IdFluide_aval = 1

8.24.3.3.3.1 Détermination des GUE_{ch}

La matrice de performances des machines eau glycolée / eau est la suivante.

				Tamont (eau capteur géothermiques)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5	Cnn	
35	25	30	3						1,05	30/35
40	30	35	4						1,1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	2						1	50/45
		Cnn amont		1	1,05	1,05	1,05	1,05		
					2,5/-	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 146 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
45°C 45°C et 50°C 45°C et 50°C, 30°C 45°C et 50°C, 30°C, 35°C

Températures amont
-2,5°C -2,5°C, 2,5°C, -2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, -2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C, -2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C, 17,5°C,

Tableau 221 : Températures aux sources

8.24.3.3.3.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

on applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.1 Si statut_données = 2 $ValGUEch(1,3) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.3.3.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(2,2)}

<u>Attention</u> : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(1,2)} = 0

{ValGUEch(1,2)} = {ValGUEch(1,3)} * $Cnnav_{\_GUEch}(35, 45)$

si {ValGUEch(1,1)} = 0

{ValGUEch(1,1)} = {ValGUEch(1,2)} * $Cnnav_{\_GUEch}(30, 35)$

si {ValGUEch(1,4)} = 0

{ValGUEch(1,4)} = {ValGUEch(1,3)} * $Cnnav_{\_GUEch}(50, 45)$

2. les lignes sont complétées

si {ValGUEch(2,2)} = 0

{ValGUEch(2,2)} = {ValGUEch(1,2)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2{,}5, -2{,}5)$

si {ValGUEch(2,1)} = 0

{ValGUEch(2,1)} = {ValGUEch(2,2)}

Pour Ilign allant de 1 à *2*

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

si {ValGUEch(4,Ilign)} = 0

{ValGUEch(4,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

Pour Ilign allant de 3 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(2,Ilign)} = 0

{ValGUEch(2,Ilign)} = {ValGUEch(1,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2{,}5, -2{,}5)$

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(7{,}5, 2{,}5)$

si {ValGUEch(4,Ilign)} = 0

{ValGUEch(4,Ilign)} = {ValGUEch(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(12{,}5, 7{,}5)$

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(17{,}5, 12{,}5)$

8.24.3.3.3.1.3 Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEch\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.3.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines air / eau est la suivante :

			Tamont (eau capteur géothermique)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5	
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5	
35	25	30	3						1 30/35
40	30	35	4						1 35/45
50	40	45	1						1
55	45	50	2						1 50/45
				1	1	1	1	1	
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5	

Figure 147 : Matrice des puissances absorbées pour les machine eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

8.24.3.3.3.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(1,2)} = 0

{ValPabs (1,2)} = {ValPabs (1,3)} * $Cnnav_{\_Pabs}(35, 45)$

si {ValPabs (1,1)} = 0

{ValPabs (1,1)} = {ValPabs (1,2)} * $Cnnav_{\_Pabs}(30, 35)$

si {ValPabs (1,4)} = 0

{ValPabs (1,4)} = {ValPabs (1,3)} * $Cnnav_{\_Pabs}(50, 45)$

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValCOP(2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (1,Ilign)} * Cnnam_Pabs(2,5, -2,5)

si {ValPabs (3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * Cnnam_Pabs(7,5, 2,5)

si {ValPabs (4,Ilign)} = 0

{ValPabs (4,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * Cnnam_Pabs(7,5, 12,5)

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * Cnnam_Pabs(12,5, 17,5)

8.24.3.3.3.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Pgazcons_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.3.3.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en chauffage Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP air /eau est la suivante.

				Tamont (eau capteur géothermique)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5		
35	25	30	3						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	2						1	50/45
				1	1	1	1	1		
					2,5/-	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 148 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.3.3.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1{,}2*ValPauxch_{pivot}; 0{,}0167*ValPabs(1,3))\}$$

$$ValPauxch(1,3) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(250\ ;\ 0{,}02 * ValPabs(1,3)$$

$$ValPauxch(1,3) = ValPaux\_pivot\_int$$

8.24.3.3.3.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(1,2)} = 0

{ValPaux(1,2)} = {ValPaux(1,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(35, 45)$

si {ValPaux(1,1)} = 0

{ValPaux(1,1)} = {ValPaux(1,2)} * $Cnnav_{\_Paux}(30, 35)$

si {ValPaux(1,4)} = 0

{ValPaux(1,4)} = {ValPaux(1,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(50, 45)$

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(1,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(2,5, -2,5)$

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(7,5, 2,5)$

si {ValPaux(4,Ilign)} = 0

{ValPaux(4,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(12,5, 7,5)$

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(17,5, 12,5)$

8.24.3.3.3.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Paux_pc(h) = $(1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.3.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.3.4 GAHP eau glycolée / eau haute température

Syst_Thermo_CH = 4

Idfougen = 1 IdFluide_aval = 1

8.24.3.3.4.1 Détermination des GUE_{ch}

La matrice de performances des machines eau glycolée / eau haute température est la suivante.

				Tamont (eau capteur géothermique)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5	Cnn aval	
35	25	30	3						1,05	30/35
40	30	35	4						1,1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						1	50/45
65	55	60	2						0,85	60/50
		Cnn amont		1	1,05	1,05	1,05	1,05		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 149 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau haute température

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
45°C
45°C, 60°C
45°C, 60°C, 30°C
45°C, 60°C, 30°C, 35°C
45°C, 60°C, 30°C, 35°C, 50°C

Températures amont
-2,5°C
-2,5°C, 2,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C, 17,5°C,

Tableau 222 : Températures aux sources

8.24.3.3.4.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

on applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.1 Si statut_données = 2 $ValGUEch(1,3) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.3.4.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(2,2)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(1,2)} = 0

{ValGUEch(1,2)} = {ValGUEch(1,3)} * $Cnnav_{\_GUEch}(35, 45)$

si {ValGUEch(1,1)} = 0

{ValGUEch(1,1)} = {ValGUEch(1,2)} * $Cnnav_{\_GUEch}(30, 35)$

si {ValGUEch(1,4)} = 0

{ValGUEch(1,4)} = {ValGUEch(1,3)} * $Cnnav_{\_GUEch}(50, 45)$

si {ValGUEch(1,5)} = 0

{ValGUEch(1,5)} = {ValGUEch(1,4)} * $Cnnav_{\_GUEch}(60, 50)$

2) les lignes sont complétées

si {ValGUEch(2,2)} = 0

{ValGUEch(2,2)} = {ValGUEch(1,2)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2,5, -2,5)$

si {ValGUEch(2,1)} = 0

{ValGUEch(2,1)} = {ValGUEch(2,2)}

si {ValGUEch(2,3)} = 0

{ValGUEch(2,3)} = {ValGUEch(1,3)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2,5, -2,5)$

si {ValGUEch(2,4)} = 0

{ValGUEch(2,4)} = {ValGUEch(1,4)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2,5, -2,5)$

si {ValGUEch(2,5)} = 0

{ValGUEch(2,5)} = {ValGUEch(1,5)} * $Cnnam_{\_GUEch}(2,5, -2,5)$

Pour Ilign allant de 1 à 2,

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

si {ValGUEch(4,Ilign)} = 0

{ValGUEch(4,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)}

Pour Ilign allant de 3 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{VaGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(7,5, 2,5)$

si {ValGUEch(4,Ilign)} = 0

{ValGUEch(4,Ilign)} = {ValGUEch(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(12,5, 7,5)$

si {ValGUEch(5, Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEch}(17,5, 12,5)$

8.24.3.3.4.1.3 Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEch\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.4.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines air / eau est la suivante :

				Tamont (eau capteur géothermique)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5		
35	25	30	3						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						1	50/45
65	55	60	2						1	60/50
				1	1	1	1	1		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 150 : Matrice des puissances absorbées pour les machine eau glycolée / eau haute température

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

8.24.3.3.4.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(1,2)} = 0

{ValPabs (1,2)} = {ValPabs (1,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(35, 45)

si {ValPabs (1,1)} = 0

{ValPabs (1,1)} = {ValPabs (1,2)} * $Cnnav_{Pabs}$(30, 35)

si {ValPabs (1,4)} = 0

{ValPabs (1,4)} = {ValPabs (1,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(50, 45)

si {ValPabs (1,5)} = 0

{ValPabs (1,5)} = {ValPabs (1,4)} * $Cnnav_{Pabs}$(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPabs(2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (1,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(2,5, -2,5)

si {ValPabs (3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(7,5, 2,5)

si {ValPabs (4,Ilign)} = 0

{ValPabs (4,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(12,5, 7,5)

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(17,5, 12,5)

8.24.3.3.4.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Pgazcons_pc(h) = $(1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*${ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*${ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*${ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}*C_{\theta av}*${ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.3.4.3 Détermination de de la puissance électrique absorbée en chauffage Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP air /eau est la suivante.

			Tamont (eau capteur géothermique)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5	
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5	
35	25	30	3						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	1						1	
55	45	50	5						1	50/45
65	55	60	2						1	60/50
				1	1	1	1	1		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 151 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau haute température

La valeur ‘pivot’ à fournir systématiquement par l’utilisateur est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.3.4.3.1 ***Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)***

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValPauxch(icol, ilign) = ValPauxch(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1,2*ValPauxch_{pivot}; 0,0167*ValPabs(1,3))\}$$

$$ValPauxch(1,3) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(250\ ;\ 0,02 * ValPabs(1,3)$$

$$ValPauxch(1,3) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.3.4.3.2 ***Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)***

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(1,2)} = 0

{ValPaux(1,2)} = {ValPaux(1,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(35, 45)$

si {ValPaux(1,1)} = 0

{ValPaux(1,1)} = {ValPaux(1,2)} * $Cnnav_{\_Paux}(30, 35)$

si {ValPaux(1,4)} = 0

{ValPaux(1,4)} = {ValPaux(1,3)} * $Cnnav_{\_Paux}(50, 45)$

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(1,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(2,5, -2,5)$

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(7,5, 2,5)$

si {ValPaux(4,Ilign)} = 0

{ValPaux(4,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(12,5, 7,5)$

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}(17,5, 12,5)$

8.24.3.3.4.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.4.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.3.5 GAHP eau / eau

Syst_Thermo_CH = 5

Idfougen = 1 IdFluide_aval = 1

8.24.3.3.5.1 Détermination des GUE_{ch}

La matrice de performances des machines eau / eau est la suivante.

				Tamont (eau de nappe ou de					
T aval (eau)			Tam >	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	2	1	3	4	Cnn	
35	25	30	4					1,05	30/35
40	30	35	3					1,05	35/45
50	40	45	1					1	
55	45	50	5					0,95	50/45
65	55	60	2					0,95	60/50
		Cnn amont		0,95	1	1,05	1,05		
				2,5/7,5		12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 152 : Matrice de performance des machines eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
45°C
45°C, 60°C
45°C, 60°C, 35°C
45°C, 60°C, 35°C, 30°C
45°C, 60°C, 35°C, 30°C, 50°C

Températures amont
7,5 °C
7,5 °C, 2,5 °C
7,5 °C, 2,5 °C, 12,5°C
7,5 °C, 2,5 °C, 12,5°C, 17,5°C

Tableau 223 : Températures aux sources

8.24.3.3.5.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

on applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.1 Si statut_données = 2 $ValGUEch(2,3) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.3.5.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(2,2)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(2,2)} = 0

{ValGUEch(2,2)} = {ValGUEch(2,3)} * Cnnav_GUEch(35,45)

si {ValGUEch(2,1)} = 0

{ValGUEch(2,1)} = {ValGUEch(2,2)}

si {ValGUEch(2,4)} = 0

{ValGUEch(2,4)} = {ValGUEch(2,3)} * Cnnav_ GUEch(50, 45)

si {ValGUEch(2,5)} = 0

{ValGUEch(2,5)} = {ValGUEch(2,4)} * Cnnav_ GUEch(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(1,Ilign)} = 0

{ValGUEch(1,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * Cnnam_GUEch(2,5, 7,5)

si {ValGUEch(3,1)} = 0

{ValGUEch(3,1)} = {ValGUEch(2,1)}

si {ValGUEch(3,2)} = 0

{ValGUEch(3,2)} = {ValGUEch(2,2)}

si {ValGUEch(4,1)} = 0

{ValGUEch(4,1)} = {ValGUEch(2,1)}

si {ValGUEch(4,2)} = 0

{ValGUEch(4,2)} = {ValGUEch(2,2)}

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{VaGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} * Cnnam_GUEch(12,5, 7,5)

si {ValGUEch(4,Ilign)} = 0

{ValGUEch(4,Ilign)} = {ValGUEch(3,Ilign)} * Cnnam_GUEch(17,5, 12,5)

8.24.3.3.5.1.3 Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEch\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.5.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines eau / eau est la suivante :

				Tamont (eau de nappe ou de surface)					
T aval (eau)			Tam >	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	2	1	3	4		
35	25	30	4					1	30/35
40	30	35	3					1	35/45
50	40	45	1					1	
55	45	50	5					1	50/45
65	55	60	2					1	60/50
				1	1	1	1		
				2,5/7,5		12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 153 : Matrice des puissances absorbées pour les machine eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 7,5 ; Tav = 45.

8.24.3.3.5.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(2,2)} = 0
{ValPabs (2,2)} = {ValPabs (2,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(35, 45)
si {ValPabs (2,1)} = 0
{ValPabs (2,1)} = {ValPabs (2,2)} * $Cnnav_{Pabs}$(30, 35)
si {ValPabs (2,4)} = 0
{ValPabs (2,4)} = {ValPabs (2,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(50, 45)
si {ValPabs (2,5)} = 0
{ValPabs (2,5)} = {ValPabs (2,4)} * $Cnnav_{Pabs}$(60, 50)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,
si {ValPabs(1,Ilign)} = 0
{ValPabs (1,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(2,5, 7,5)
si {ValPabs (3,Ilign)} = 0
{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(7,5, 12,5)
si {ValPabs (4,Ilign)} = 0
{ValPabs (4,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(12,5, 17,5)

8.24.3.3.5.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Pgazcons_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.3.5.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en chauffage Paux

La matrice des puissances électrique Pauxpc des GAHP eau /eau est la suivante.

				Tamont (eau de nappe ou de					
T aval (eau)			Tam >	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	2	1	3	4		
35	25	30	4					1	30/35
40	30	35	3					1	35/45
50	40	45	1					1	
55	45	50	5					1	50/45
65	55	60	2					1	60/50
				1	1	1	1		
				2,5/7,5		12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 154 : Matrice de performance des machines eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7,5 ; Tav = 45.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.3.5.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.3.1 Si statut_données = 2 $\mathrm{ValPauxch}(2,3) = \mathrm{ValPaux_pivot_inter}$Si statut_	

8.24.3.3.5.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(2,2)} = 0

{ValPaux(2,2)} = {ValPaux(2,3)} * $Cnnav_{Paux}$(35, 45)

si {ValPaux(2,1)} = 0

{ValPaux(2,1)} = {ValPaux(2,2)} * $Cnnav_{Paux}$(30, 35)

si {ValPaux(2,4)} = 0

{ValPaux(2,4)} = {ValPaux(2,3)} * $Cnnav_{Paux}$(50, 45)

si {ValPaux(2,5)} = 0

{ValPaux(2,5)} = {ValPaux(2,4)} * $Cnnav_{Paux}$(60, 50)

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(2,5, 7,5)

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(7,5, 12,5)

si {ValPaux(4,Ilign)} = 0

{ValPaux(4,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(12,5, 17,5)

8.24.3.3.5.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.3.5.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.4 *Fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales en mode ECS (Idfonction = 3)*

8.24.3.4.1 GAHP air / eau

Syst_Thermo_ECS = 1

Idfougen = 3 IdFluide_aval = 1

8.24.3.4.1.1 Détermination des GUE_{ECS}

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4	Cnn aval	
35	25	30	5						1,05	30/35
40	30	35	4						1,05	35/45
50	40	45	3						1,05	45/50
55	45	50	2						1,15	50/60
65	55	60	1						1	
		Cnn amont		0,8	0,9	0,9	1	1,1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 155 : Matrice de performance des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 60.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
60°C
60°C et 50°C
60°C et 50°C, 45°C
60°C et 50°C, 45°C, 35°C
60°C et 50°C, 45°C, 35°C, 30°C

Températures amont
7 °C
- 7 °C, 7 °C
-7°C, 2°C, 7°C
-7°C, 2°C; 7°C, 20°C
-15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 224 : Températures aux sources

8.24.3.4.1.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValGUEecs(icol, ilign) = ValGUEecs(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValGUEecs(icol, ilign) = ValGUEecs(icol, ilign)$*0,9

Si statut_données = 2

Si statut_valeur_pivot = 1

$$ValECS\_pivot\_inter = \min\{0{,}8*ValGUEecs_{pivot}; Val\_util\_max\}$$

$$ValGUEecs(4{,}5) = ValGUE\_pivot\_inter$$

Si statut_valeur_pivot = 2

$$ValECS_{\_pivot\_inter} = 0.8 * Val\_util\_max$$
$$ValGUEecs(4{,}5) = ValGUE\_pivot\_inter$$

8.24.3.4.1.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(4,2)}

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 20°C. En l'absence de valeurs de GUE_{ECS} au delà de T amont 20°C, le GUE à 20°C est utilisé. Si un GUE_{ECS} au delà de 20°C est fourni, par exemple à 35°C, le GUE_{ECS} de calcul à 20°C est remplacé par le GUE de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEecs(4,4)} = 0

{ValGUEecs(4,4)} = {ValGUEecs(4,5)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(50, 60)

si {ValGUEecs(4,3)} = 0

{ValGUEecs(4,3)} = {ValGUEecs(4,4)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(45, 50)

si {ValGUEecs(4,2)} = 0

{ValGUEecs(4,2)} = {ValGUEecs(4,3)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(35, 45)

si {ValGUEecs(4,1)} = 0

{ValGUEecs(4,1)} = {ValGUEecs(4,2)}

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEecs(3,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(3,Ilign)} = {ValGUEecs(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(2, 7)

si {ValGUEecs(2,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(2,Ilign)} = {ValGUEecs(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(-7, 2)

si {ValGUEecs(1,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(1,Ilign)} = {ValGUEecs(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(-15, -7)

si {ValGUEch(5,1)} = 0

{ValGUEecs(5,1)} = {ValGUEecs(4,1)}

si {ValGUEch(5,2)} = 0

{ValGUEecs(5,2)} = {ValGUEecs(4,2)}

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(5,Ilign)} = {ValGUEecs(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(20, 7)

8.24.3.4.1.1.3 Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEecs\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.4.1.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines air / eau est la suivante :

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	5						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	3						1	45/50
55	45	50	2						1	50/60
65	55	60	1						1	
				1	1,03	1,06	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 156 : Matrice des puissances absorbées pour les machine air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 60.

8.24.3.4.1.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 20°C. En l'absence de valeurs de $Pgazcons_{ECS}$ au delà de T amont 20°C, le $Pgazcons_{ECS}$ à 20°C est utilisé. Si un $Pgazcons_{ECS}$ au delà de 20°C est fourni, par exemple à 35°C, le $Pgazcons_{ECS}$ de calcul à 20°C est remplacé par le $Pgazcons_{ECS}$ de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(4,4)} = 0

{ValPabs (4,4)} = {ValPabs (4,5)} * $Cnnav_{\_Pabs}(50, 60)$

si {ValPabs (4,3)} = 0

{ValPabs (4,3)} = {ValPabs (4,4)} * $Cnnav_{\_Pabs}(45, 50)$

si {ValPabs (4,2)} = 0

{ValPabs (4,2)} = {ValPabs (4,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(35, 45)

si {ValPabs (4,1)} = 0

{ValPabs (4,1)} = {ValPabs (4,2)} * $Cnnav_{Pabs}$(30, 35)

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPabs(3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(2, 7)

si {ValPabs (2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(-7, 2)

si {ValPabs (1,Ilign)} = 0

{ValPabs (1,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(-15, -7)

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(20, 7)

8.24.3.4.1.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Pgazcons\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.4.1.3 Détermination de de la puissance électrique absorbée en ECS Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP air /eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-15	-7	2	7	20		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	2	3	1	4		
35	25	30	5						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	3						1	45/50
55	45	50	2						1	50/60
65	55	60	1						1	
				1	1	1	1	1		
				-15/-7	-7/2	2/7		20/7		

Figure 157 : Matrice de performance des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 7 ; Tav = 60.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.4.1.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.3.1

Si statut_données = 2

$$ValPauxECS(4,5) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.4.1.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 20°C. En l'absence de valeurs de $Paux_{ECS}$ au delà de T amont 20°C, le $Paux_{ECS}$ à 20°C est utilisé. Si un $Paux_{ECS}$ au delà de 20°C est fourni, par exemple à 35°C, le $Paux_{ECS}$ de calcul à 20°C est remplacé par le $Paux_{ECS}$ de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(4,4)} = 0

{ValPaux(4,4)} = {ValPaux(4,5)} * $Cnnav_{\_Paux}$(50, 60)

si {ValPaux(4,3)} = 0

{ValPaux(4,3)} = {ValPaux(4,4)} * $Cnnav_{\_Paux}$(45, 50)

si {ValPaux(4,2)} = 0

{ValPaux(4,2)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{\_Paux}$(35, 45)

si {ValPaux(4,1)} = 0

{ValPaux(4,1)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{\_Paux}$(30, 35)

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(2, 7)

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(-7, 2)

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(-15, -7)

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(20, 7)

8.24.3.4.1.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.4.1.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.4.2 GAHP eau glycolée / eau

Syst_Thermo_ECS = 2

Idfougen = 3 IdFluide_aval = 1

8.24.3.4.2.1 Détermination des GUE_{ECS}

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5	Cnn	
35	25	30	5						1,05	30/35
40	30	35	4						1,1	35/45
50	40	45	3						1,1	45/50
55	45	50	2						1,1	50/60
65	55	60	1						1	
		Cnn amont		1	1,02	1,03	1,03	1,03		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 158 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 60.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
60°C
60°C et 50°C
60°C et 50°C, 45°C
60°C et 50°C, 45°C, 35°C
60°C et 50°C, 45°C, 35°C, 30°C

Températures amont
-2,5°C,
-2,5°C, 2,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C,
-2,5°C, 2,5°C, 7,5°C, 12,5°C, 17,5°C

Tableau 225 : Températures aux sources

8.24.3.4.2.1.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.4.1.1.1

Si statut_données = 2

$$ValGUEecs(1{,}5) = ValGUE\_pivot\_inter$$

8.24.3.4.2.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(2,2)}

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 17,5°C. En l'absence de valeurs de GUE_{ECS} au delà de T amont 17,5°C, le GUE à 17,5°C est utilisé. Si un GUE_{ECS} au delà de 17,5°C est fourni, par exemple à 35°C, le GUE_{ECS} de calcul à 17,5°C est remplacé par le GUE de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEecs(1,4)} = 0

{ValGUEecs(1,4)} = {ValGUEecs(1,5)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(50, 60)

si {ValGUEecs(1,3)} = 0

{ValGUEecs(1,3)} = {ValGUEecs(1,4)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(45, 50)

si {ValGUEecs(1,2)} = 0

{ValGUEecs(1,2)} = {ValGUEecs(1,3)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(35, 45)

si {ValGUEecs(1,1)} = 0

{ValGUEecs(1,1)} = {ValGUEecs(1,2)} * $Cnnav_{\_GUEecs}$(30, 35)

2) les lignes sont complétées

si {ValGUEecs(2,2)} = 0

{ValGUEecs(2,2)} = {ValGUEecs(1,2)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(2,5, -2,5)

si {ValGUEecs(2,1)} = 0

{ValGUEecs(2,1)} = {ValGUEecs(2,2)}

Pour Ilign allant de 1 à *2*

si {ValGUEecs(3,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(3,Ilign)} = {ValGUecs(2,Ilign)}

si {ValGUEecs(4,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(4,Ilign)} = {ValGUEecs(2,Ilign)}

si {ValGUEecs(5,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(5,Ilign)} = {ValGUEecs(2,Ilign)}

Pour Ilign allant de 3 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEecs(2,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(2,Ilign)} = {ValGUEecs(1,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$ (2,5, -2,5)

si {ValGUEecs(3,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(3,Ilign)} = {ValGUEecs(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$ (7,5, 2,5)

si {ValGUEecs(4,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(4,Ilign)} = {ValGUEecs(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(12,5, 7,5)

si {ValGUEecs(5,Ilign)} = 0

{ValGUEecs(5,Ilign)} = {ValGUEecs(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEecs}$(17,5, 12,5)

8.24.3.4.2.1.3 ***Calcul du gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps***

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEecs\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEch(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEch(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.4.2.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances absorbées des machines eau glycolée / eau est la suivante :

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5		
35	25	30	5						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	3						1	45/50
55	45	50	2						1	50/60
65	55	60	1						1	
				1	1	1	1	1		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 159 : Matrice des puissances absorbées pour les machine eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = -2,5 ; Tav = 60.

8.24.3.4.2.2.1 ***Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)***

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 20°C. En l'absence de valeurs de $Pgazcons_{ECS}$ au delà de T amont 20°C, le $Pgazcons_{ECS}$ à 20°C est utilisé. Si un $Pgazcons_{ECS}$ au delà de 20°C est fourni, par exemple à 35°C, le $Pgazcons_{ECS}$ de calcul à 20°C est remplacé par le $Pgazcons_{ECS}$ de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(1,4)} = 0

{ValPabs (1,4)} = {ValPabs (1,5)} * $Cnnav_{Pabs}(50, 60)$

si {ValPabs (1,3)} = 0

{ValPabs (1,3)} = {ValPabs (1,4)} * $Cnnav_{Pabs}(45, 50)$

si {ValPabs (1,2)} = 0

{ValPabs (1,2)} = {ValPabs (1,3)} * $Cnnav_{Pabs}(35, 45)$

si {ValPabs (1,1)} = 0

{ValPabs (1,1)} = {ValPabs (1,2)} * $Cnnav_{Pabs}(30, 35)$

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPabs(2,Ilign)} = 0

{ValPabs (2,Ilign)} = {ValPabs (1,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(2,5, -2,5)$

si {ValPabs (3,Ilign)} = 0

{ValPabs (3,Ilign)} = {ValPabs (2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(7,5, 2,5)$

si {ValPabs (4,Ilign)} = 0

{ValPabs (4,Ilign)} = {ValPabs (3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(12,5, 7,5)$

si {ValPabs (5,Ilign)} = 0

{ValPabs (5,Ilign)} = {ValPabs (4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}(17,5, 12,5)$

8.24.3.4.2.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Pgazcons\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.4.2.3 Détermination de de la puissance électrique absorbée en ECS Paux

La matrice des puissances électriques Pauxpc des GAHP eau glycolée /eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	-2,5	2,5	7,5	12,5	17,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	1	2	3	4	5		
35	25	30	5						1	30/35
40	30	35	4						1	35/45
50	40	45	3						1	45/50
55	45	50	2						1	50/60
65	55	60	1						1	
				1	1	1	1	1		
					2,5/-2,5	7,5/2,5	12,5/7,5	17,5/12,5		

Figure 160 : Matrice de performance des machines eau glycolée / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = – 2,5 ; Tav = 60.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.4.2.3.1 ***Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)***

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValPauxecs(icol, ilign) = ValPauxecs(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValPauxecs(icol, ilign) = ValPauxecs(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1{,}2*ValPauxecs_{pivot}; 0{,}0167*ValPabs(1{,}5)\}$$

$$ValPauxecs(1{,}5) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(250\ ;\ 0{,}02 * ValPabs(1{,}5)$$

$$ValPauxecs(1{,}5) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.4.2.3.2 ***Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)***

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

La fonction ECS étant activée toute l'année, T amont peut dépasser 20°C. En l'absence de valeurs de $Paux_{ECS}$ au delà de T amont 20°C, le $Paux_{ECS}$ à 20°C est utilisé. Si un $Paux_{ECS}$ au delà de 20°C est fourni, par exemple à 35°C, le $Paux_{ECS}$ de calcul à 20°C est remplacé par le $Paux_{ECS}$ de calcul à 35°C. Au-delà, le Cnn reste égal au Cnn à 35°C.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(1,4)} = 0

{ValPaux(1,4)} = {ValPaux(1,5)} * $Cnnav_{\_Paux}$(50, 60)

si {ValPaux(1,3)} = 0

{ValPaux(1,3)} = {ValPaux(1,4)} * $Cnnav_{\_Paux}$(45, 50)

si {ValPaux(1,2)} = 0

{ValPaux(1,2)} = {ValPaux(1,3)} * $Cnnav_{\_Paux}$(35, 45)

si {ValPaux(1,1)} = 0

{ValPaux(1,1)} = {ValPaux(1,2)} * $Cnnav_{\_Paux}$(30, 35)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(1,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(2,5, -2,5)

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(7,5, 2,5)

si {ValPaux(4,Ilign)} = 0

{ValPaux(4,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(12,5, -7,5)

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(17,5, 12,5)

8.24.3.4.2.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Paux_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValPaux($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValPaux($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValPaux($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValPaux($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.4.2.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.4.3 GAHP eau / eau

Syst_Thermo_ECS = 3

Idfougen = 3 IdFluide_aval = 1

8.24.3.4.3.1 Détermination des GUE_{ECS}

Les conditions de fonctionnement de la fonction ECS couvrent des Taval jusqu'à 60°C et des températures jusqu'à T amont 17,5°C.
La matrice de performance (***GUE_{ECS}***) des GAHP eau /eau est celle des *GUE_{ch} eau / eau haute température.*

Les mêmes modalités qu'en chauffage s'appliquent.

8.24.3.4.3.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

Les conditions de fonctionnement de la fonction ECS couvrent des Taval jusqu'à 60°C et des températures jusqu'à T amont 17,5°C.
La matrice de puissance des GAHP ECS eau /eau est celle des *GUE_{ch} eau / eau haute température.*

Les mêmes modalités qu'en chauffage s'appliquent.

8.24.3.4.3.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en ECS Paux

Les conditions de fonctionnement de la fonction ECS couvrent des Taval jusqu'à 60°C et des températures jusqu'à T amont 17,5°C.
La matrice de puissance auxiliaire des GAHP ECS eau /eau est celle des *GUE_{ch} eau / eau haute température.*

Les mêmes modalités qu'en chauffage s'appliquent.

8.24.3.4.3.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.3.1.4

8.24.3.5 *Fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales en mode refroidissement (Idfonction = 2)*

8.24.3.5.1 Refroidisseurs air / eau

Syst_Thermo_FR = 1

Idfougen = 2 IdFluide_aval = 1

8.24.3.5.1.1 Détermination des GUE_{fr}

La matrice de performances des machines air / eau est la suivante.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	5	15	25	35	45		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	4	3	1	2	Cnn	
1,5	6,5	4	5						0,9	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1,1	15/9,5
18	23	20,5	2						1,1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1,1	26/20,5
		Cnn amont		1,15	1,15	1,2	1	0,8		
				5/15	15/25	25/35		45/35		

Figure 161 : Matrice de performance des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 35 ; Tav = 9.5 avec les options suivantes :

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes :

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
9.5 °C 9.5°C, 20.5°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C 4°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C

Températures amont
35 °C 35 °C, 45 °C 35 °C, 45 °C, 25°C, 35 °C, 45 °C, 25°C, 15°C, 35 °C, 45 °C, 25°C, 15°C, 5°C

Tableau 226 : Températures aux sources

8.24.3.5.1.1.1 Correction des valeurs de performance justifiées (une fois en début de simulation)

Si Type_cycle_FR = 1 val_util_max = 0,7

Si Type_cycle_FR = 2 val_util_max = 1,0

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValGUEfr(icol, ilign) = ValGUEfr(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValGUEfr(icol, ilign) = ValGUEfr(icol, ilign)$*0,9

Si statut_données = 2

Si statut_valeur_pivot = 1

$ValGUE\_pivot\_inter = \min\{0,8*ValGUEfr\_pivot; Val\_util\_max\}$

$ValGUEfr(4,2) = ValGUE\_pivot\_inter$

Si statut_valeur_pivot = 2

$ValGUE_{pivot_{inter}} = 0{,}8 * Val\_util\_max$ $ValGUEfr(4{,}2) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.5.1.1.2 ***Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)***

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(4,3)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEfr(4,1)} = 0

{ValGUEfr(4,1)} = {ValGUEfr(4,2)} * $Cnnav_{\_GUEfr}$(4, 9.5)

si {ValGUEfr(4,3)} = 0

{ValGUEfr(4,3)} = {ValGUEfr(4,2)} * $Cnnav_{\_GUEfr}$(15, 9.5)

si {ValGUEfr(4,4)} = 0

{ValGUEfr(4,4)} = {ValGUEfr(4,3)}

si {ValGUEfr(4,5)} = 0

{ValvGUEfr(4,5)} = {ValGUEfr(4,3)}

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 3 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEfr(3,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(3, Ilign)} = {ValGUEfr(4,3)}

si {ValGUEfr(2, Ilign)} = 0

{ValGUEfr(2, Ilign)} = {ValGUEfr(4,3)}

si {ValGUEfr(1, Ilign)} = 0

{ValGUEfr(1, Ilign)} = {ValGUEfr(4,3)}

Pour Ilign allant de 1 à 2,

si {ValGUEfr(3,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(3,Ilign)} = {ValGUEfr(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEfr}$(25, 35)

si {ValGUEfr(2,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(2,Ilign)} = {ValGUEfr(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEfr}$(15, 25)

si {ValGUEfr(1,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(1,Ilign)} = {ValGUEfr(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_GUEfr}$(5, 15)

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEfr(5,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(5,Ilign)} = {ValGUEfr(4,Ilign)} * Cnnam$_{GUEfr}$(45, 35)

8.24.3.5.1.1.3 Calcul du Gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

GUEfr_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValGUEfr($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValGUEfr($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValGUEfr($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValGUEfr($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.5.1.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances gaz absorbées des machines air / eau est la suivante :.

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	5	15	25	35	45		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	4	3	1	2		
1,5	6,5	4	5						1	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1	15/9,5
18	23	20,5	2						1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1	26/20,5
				1,03	1,03	1,03	1	0,97		
				5/15	15/25	25/35		45/35		

Figure 162 : Matrice des puissances gaz absorbées pour les machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 35 ; Tav = 9.5.

Les puissances absorbées mesurées doivent correspondre aux cas fournis pour les valeurs des GUEfr.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

8.24.3.5.1.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(4,1)} = 0

{ValPabs(4,1)} = {ValPabs(4,2)} * Cnnav$_{Pabs}$(4, 9.5)

si {ValPabs(4,3)} = 0

{ValPabs(4,3)} = {ValPabs(4,2)} * Cnnav$_{Pabs}$(15, 9.5)

si {ValPabs(4,4)} = 0

{ValPabs(4,4)} = {ValPabs(4,3)} * Cnnav$_{Pabs}$(20.5, 15)

si {ValPabs(4,5)} = 0

{ValPabs(4,5)} = {ValPabs(4,4)} * $Cnnav_{Pabs}$(26, 20.5)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPabs(3,Ilign)} = 0

{ValPabs(3,Ilign)} = {ValPabs(4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(25, 35)

si {ValPabs(2,Ilign)} = 0

{ValPabs(2,Ilign)} = {ValPabs(3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(15, 25)

si {ValPabs(1,Ilign)} = 0

{ValPabs(1,Ilign)} = {ValPabs(2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(5, 15)

si {ValPabs(5,Ilign)} = 0

{ValPabs(5,Ilign)} = {ValPabs(4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(45, 35)

8.24.3.5.1.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

Pconsgaz_pc(h) = (1-$C_{\theta am}$)*(1-$C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta am}$*(1 - $C_{\theta av}$)*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}1$)} + $C_{\theta av}$*(1 – $C_{\theta am}$)*{ValPabs($i_{\theta am}1$, $i_{\theta av}2$)} + $C_{\theta am}$*$C_{\theta av}$*{ValPabs($i_{\theta am}2$, $i_{\theta av}2$)}

8.24.3.5.1.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en refroidissement Paux

La matrice des puissances électriques absorbées des GAHP air /eau est la suivante :

				Tamont (air extérieur)						
T aval (eau)			Tam >	5	15	25	35	45		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	5	4	3	1	2		
1,5	6,5	4	5						1	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1	15/9,5
18	23	20,5	2						1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1	26/20,5
				0,9	0,9	0,9	1	1		
				5/15	15/25	25/35		45/35		

Figure 163 : Matrice des puissances électriques absorbées des machines air / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 35 ; Tav = 9,5.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.5.1.3.1 ***Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)***

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ı\ , ValPauxfr(icol, ilign) = ValPauxfr(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) =ˇ\ , ValPauxcfr(icol, ilign) = ValPauxfr(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1,2*ValPauxfr_{pivot}; 0,0416*ValPabs(4,2))\}$$

$$ValPauxfr(4,2) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(400\ ;\ 0,05 * ValPabs(4,2)$$

$$ValPauxfr(4,2) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.5.1.3.2 ***Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)***

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1. La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(4,1)} = 0

{ValPaux(4,1)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{\_Paux}$(4, 9,5)

si {ValPaux(4,3)} = 0

{ValPaux(4,3)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{\_Paux}$(15, 9,5)

si {ValPaux(4,4)} = 0

{ValPaux(4,4)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{\_Paux}$(20,5, 15)

si {ValPaux(4,5)} = 0

{ValPaux(4,5)} = {ValPaux(4,4)} * $Cnnav_{\_Paux}$(26, 20,5)

2. les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(25, 35)

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(15, 25)

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(5, 15)

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{\_Paux}$(45, 35)

8.24.3.5.1.3.3 ***Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps***

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.5.1.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

Les puissances fournies à conditions pleine charge non nominales sont égales au produit de la puissance absorbée et du GUE.

Si la puissance requise par le réseau est supérieure à la puissance disponible, l'énergie restante est en sortie de ce module. Elle pourra alors être fournie par un générateur d'appoint ou reportée au pas de temps suivant.

$$Pfou\_pc\_brut(h) = Pgazcons\_pc(h) * GUEfr\_pc(h)$$

si Lim_Theta = 0

$Pfou\_pc(h) = Pfou\_pc\_brut(h)$

$Q_{rest\_act} = \max \{0 ; Q_{req\_act} - Pfou\_pc(h)\}$

sinon si Lim_Theta = 1 **et** si $\theta_{amont}(h) > Theta\_max\_am$ **ou** si $\theta_{aval}(h) < Theta\_min\_av$

$Q_{rest\_act} = Q_{req\_act}$ et $Pfou\_pc(h) = 0$

sinon si Lim_Theta = 2 **et** si $\theta_{amont}(h) > Theta\_max\_am$ **et** si $\theta_{aval}(h) < Theta\_min\_av$

$Q_{rest\_act} = Q_{req\_act}$ et $Pfou\_pc(h) = 0$

8.24.3.5.1.5 Limites de fonctionnement

Les conditions de fonctionnement possibles sont définies par le constructeur. Elles s'expriment en termes de valeur basse de la température départ aval Theta_min_av et valeur haute de température amont Theta_max_am, ou en combinaison de deux valeurs.

Par exemple, Theta_min_av = 5 °C indique que la machine ne peut pas fonctionner si la température départ réseau est inférieure à 5 °C. Ceci indique un manque de cohérence entre la caractéristique du réseau et des émetteurs et la machine. La machine ne fonctionne alors pas.

Par exemple, Theta_max_am = 40°C indique que la machine ne fonctionne pas si la température extérieure est supérieure à 40 °C.

(Theta_min_av = 5°C, Theta_max_am = 40°C) indique que la machine ne fonctionne pas si les deux conditions sont simultanément remplies.

8.24.3.5.2 Refroidisseurs eau / eau

Syst_Thermo_FR = 2

Idfougen = 2 IdFluide_aval = 1

8.24.3.5.2.1 Détermination des GUE_{fr}

La matrice de performances des machines eau / eau est la suivante.

			Tamont (eau de tour)						
		Tdépart	5	15	25	35	45		
		Tretour	0	10	20	30	40		
T aval (eau)		Tam >	2,5	12,5	22,5	32,5	42,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	4	3	2	1	5		
1,5	6,5	4	5						0,95	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1,05	15/9,5
18	23	20,5	2						1,1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1,05	26/20,5
				1,1	1,15	1,1	1	0,9		
				2,5/12,5	12,5/22,5	22,5/32,5		42,5/32,5		

Figure 164 : Matrice de performance des machines eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 32,5 ; Tav = 9.5 avec les options suivantes :

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes :

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
9.5°C 9.5°C, 20.5°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26°C 4°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26°C

Températures amont
32,5°C 32,5°C, 22,5°C, 32,5°C, 22,5°C,12,5°C, 32,5°C, 22,5°C,12,5°C, 2,5°C, 32,5°C, 22,5°C, 12,5°C, 2,5°C, 42,5°C,

Tableau 227 : Températures aux sources

8.24.3.5.2.1.1 Correction des valeurs de performance justifiées (une fois en début de simulation)

On applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.5.1.1.1 Si statut_données = 2 $ValGUEfr(4,2) = ValGUE\_pivot\_inter$	

8.24.3.5.2.1.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les GUE non mesurés sont calculés par défaut à partir des ratios dénommés Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Toutefois, en l'absence de valeurs mesurées pour des Tamont ≥ Tamont critique et des Taval ≤ Taval critique, tous les GUE de cette zone sont pris égaux au GUE Tamont critique, Taval critique. Les Cnn amont et aval ne sont donc pas utilisés dans cette zone car non pertinents.

GUE_Crit = {ValGUEch(3,2)}

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEfr(4,1)} = 0
{ValGUEfr(4,1)} = {ValGUEfr(4,2)} * $Cnnav_{GUEfr}$(4, 9.5)
si {ValGUEfr(4,3)} = 0
{ValGUEfr(4,3)} = {ValGUEfr(4,2)} * $Cnnav_{GUEfr}$(15, 9.5)
si {ValGUEfr(4,4)} = 0
{ValGUEfr(4,4)} = {ValGUEfr(4,3)} * $Cnnav_{GUEfr}$(20.5, 15)
si {ValGUEfr(4,5)} = 0
{ValvGUEfr(4,5)} = {ValGUEfr(4,4)} * $Cnnav_{GUEfr}$(20.5, 26)

2) les lignes sont complétées

si {ValGUEfr(3,1)} = 0
{ValGUEfr(3,1)} = {ValGUEfr(4,1)} * $Cnnav_{GUEfr}$(22,5, 32.5)
si {ValGUEfr(3,2)} = 0
{ValGUEfr(3,2)} = {ValGUEfr(4,2)} * $Cnnav_{GUEfr}$(22,5, 32,5)
si {ValGUEfr(3,3)} = 0
{ValGUEfr(3,3)} = {ValGUEfr(3,2)}
si {ValGUEfr(3,4)} = 0
{ValGUEfr(3,4)} = {ValGUEfr(3,2)}
si {ValGUEfr(3,5)} = 0
{ValvGUEfr(3,5)} = {ValGUEfr(3,2)}

Pour Ilign allant de 2 à $N_{\theta aval}$,
si {ValGUEfr(2, Ilign)} = 0
{ValGUEfr(2, Ilign)} = {ValGUEfr(3,2)}
si {ValGUEfr(1, Ilign)} = 0
{ValGUEfr(1, Ilign)} = {ValGUEfr(3,2)}

Pour Ilign allant de 1 à *1*,
si {ValGUEfr(2,Ilign)} = 0
{ValGUEfr(2,Ilign)} = {ValGUEfr(3,Ilign)} * $Cnnam_{GUEfr}$(12,5, 22,5)
si {ValGUEfr(1,Ilign)} = 0
{ValGUEfr(1,Ilign)} = {ValGUEfr(2,Ilign)} * $Cnnam_{GUEfr}$(2,5, 12,5)

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,
si {ValGUEfr(5,Ilign)} = 0
{ValGUEfr(5,Ilign)} = {ValGUEfr(4,Ilign)} * $Cnnam_{GUEfr}$(42,5, 32,5)

8.24.3.5.2.1.3 ***Calcul du Gue pour le couple Tamont Taval au pas de temps***

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.3

Algorithme pour $\theta_{aval}(h)$:

On applique la procédure des machines air / eau, voir § 8.24.3.3.1.1.3

Calcul de la performance

$GUEfr\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValGUEfr(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValGUEfr(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 – C_{\theta am})*\{ValGUEfr(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValGUEfr(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.5.2.2 Calcul des puissances gaz absorbées à pleine charge

La matrice des puissances gaz absorbées des machines eau / eau est la suivante :

			Tamont (eau de tour)						
		Tdépart	5	15	25	35	45		
		Tretour	0	10	20	30	40		
T aval (eau)			Tam >	2,5	12,5	22,5	32,5	42,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	4	3	2	1	5		
1,5	6,5	4	5						1	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1	15/9,5
18	23	20,5	2						1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1	26/20,5
				1	1	1	1	1		
				2,5/12,5	12,5/22,5	22,5/32,5		42,5/32,5		

Figure 165 : Matrice des puissances gaz absorbées pour les machines eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement est la valeur pour tam = 32,5 ; Tav = 9.5.

Les puissances absorbées mesurées doivent correspondre aux cas fournis pour les valeurs des GUEfr.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

8.24.3.5.2.2.1 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculées par défaut à partir des ratios suivants :

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPabs(4,1)} = 0

{ValPabs(4,1)} = {ValPabs(4,2)} * $Cnnav_{Pabs}$(4, 9.5)

si {ValPabs(4,3)} = 0

{ValPabs(4,3)} = {ValPabs(4,2)} * $Cnnav_{Pabs}$(15, 9.5)

si {ValPabs(4,4)} = 0

{ValPabs(4,4)} = {ValPabs(4,3)} * $Cnnav_{Pabs}$(20.5, 15)

si {ValPabs(4,5)} = 0

{ValPabs(4,5)} = {ValPabs(4,4)} * $Cnnav_{Pabs}$(26, 20.5)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPabs(3,Ilign)} = 0

{ValPabs(3,Ilign)} = {ValPabs(4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(22,5, 32,5)

si {ValPabs(2,Ilign)} = 0

{ValPabs(2,Ilign)} = {ValPabs(3,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(12,5, 22,5)

si {ValPabs(1,Ilign)} = 0

{ValPabs(1,Ilign)} = {ValPabs(2,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(2,5, 12,5)

si {ValPabs(5,Ilign)} = 0

{ValPabs(5,Ilign)} = {ValPabs(4,Ilign)} * $Cnnam_{Pabs}$(42,5, 32,5)

8.24.3.5.2.2.2 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Pconsgaz\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}1)\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPabs(i_{\theta am}1, i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPabs(i_{\theta am}2, i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.5.2.3 Détermination de la puissance électrique absorbée en refroidissement Paux

La matrice des puissances électriques absorbées des GAHP air /eau est la suivante :

			Tamont (eau de tour)						
		Tdépart	5	15	25	35	45		
		Tretour	0	10	20	30	40		
T aval (eau)		Tam >	2,5	12,5	22,5	32,5	42,5		
Tdépart	Tretour	Taval	Priorité	4	3	2	1	5		
1,5	6,5	4	5						1	4/9,5
7	12	9,5	1						1	
12,5	17,5	15	3						1	15/9,5
18	23	20,5	2						1	20,5/15
23,5	28,5	26	4						1	26/20,5
				1	1	1	1	1		
				2,5/12,5	12,5/22,5	22,5/32,5		42,5/32,5		

Figure 166 : Matrice des puissances électriques absorbées des machines eau / eau

La valeur 'pivot' à fournir systématiquement par l'utilisateur est la valeur pour tam = 32,5 ; Tav = 9,5.

Les autres valeurs sont fournies par l'utilisateur ou calculées par défaut selon les modalités suivantes.

8.24.3.5.2.3.1 Correction des valeurs de performance en fonction de leur statut (une fois en début de simulation)

Si statut_données = 1

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) = ı \ , ValPauxfr(icol, ilign) = ValPauxfr(icol, ilign)$

$\forall icol, ilign \rightarrow siValCOR(icol, ilign) = ˇ \ , ValPauxcfr(icol, ilign) = ValPauxfr(icol, ilign)$*1,1

Si statut_données = 2

Si statut_Paux_pivot = 1

$$ValPaux_{pivot_{inter}} = \max\{1,2*ValPauxfr_{pivot}; 0,0167*ValPabs(4,2)\}$$

$$ValPauxfr(4,2) = ValPaux\_pivot\_inter$$

Si statut_paux_pivot = 2

$$ValPaux\_pivot\_inter = \max(200 \ ; \ 0,02 * ValPabs(4,2)$$

$$ValPauxfr(4,2) = ValPaux\_pivot\_inter$$

8.24.3.5.2.3.2 Calcul des valeurs par défaut (une fois en début de simulation)

Les puissances non mesurées sont calculés par défaut à partir des Cnn amont et Cnn aval mentionnés dans la matrice.

Attention : les Cnn partent de la T amont ou aval pivot et évoluent de proche en proche. Ils ne sont donc pas toujours rapportés à cette dernière.

1) La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValPaux(4,1)} = 0

{ValPaux(4,1)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{Paux}$(4, 9,5)

si {ValPaux(4,3)} = 0

{ValPaux(4,3)} = {ValPaux(4,2)} * $Cnnav_{Paux}$(15, 9,5)

si {ValPaux(4,4)} = 0

{ValPaux(4,4)} = {ValPaux(4,3)} * $Cnnav_{Paux}$(20,5, 15)

si {ValPaux(4,5)} = 0

{ValPaux(4,5)} = {ValPaux(4,4)} * $Cnnav_{Paux}$(26, 20,5)

2) les lignes sont complétées

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValPaux(3,Ilign)} = 0

{ValPaux(3,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(22,5, 32,5)

si {ValPaux(2,Ilign)} = 0

{ValPaux(2,Ilign)} = {ValPaux(3,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(12,5, 22,5)

si {ValPaux(1,Ilign)} = 0

{ValPaux(1,Ilign)} = {ValPaux(2,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(2,5, 12,5)

si {ValPaux(5,Ilign)} = 0

{ValPaux(5,Ilign)} = {ValPaux(4,Ilign)} * $Cnnam_{Paux}$(42,5, 32,5)

8.24.3.5.2.3.3 Calcul de la puissance absorbée pour le couple Tamont Taval au pas de temps

$Paux\_pc(h) = (1-C_{\theta am})*(1-C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}1)\} + C_{\theta am}*(1 - C_{\theta av})*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}1\} + C_{\theta av}*(1 - C_{\theta am})*\{ValPaux(i_{\theta am}1,\ i_{\theta av}2)\} + C_{\theta am}*C_{\theta av}*\{ValPaux(i_{\theta am}2,\ i_{\theta av}2)\}$

8.24.3.5.2.4 Calcul des puissances fournies à pleine charge

On applique la procédure des machines air / eau, voir §8.24.3.5.1.4

8.24.3.6 *Fonctionnement à charge partielle ou nulle, pour Idfonction = 1, 2, 3*

Cette partie concerne l'ensemble des systèmes pris en compte dans cette fiche, qu'ils fonctionnent en chauffage, en refroidissement ou en ECS.

8.24.3.6.1 Calcul de la performance

La consommation à charge partielle résulte des 2 phénomènes :

- La consommation de gaz du brûleur lors de la phase de fonctionnement établi, **Pgaz,**
- La consommation équivalente du brûleur résultant des pertes lors des phases d'arrêt/démarrage, **Pgazma**.

La consommation électrique des auxiliaires, **Paux,** à charge partielle dépend en partie de la puissance gaz consommée (on exprime les valeurs en Wh/h, soit en W).

Sur un pas de temps donné, on connait θamont, θaval et donc GUE_pc, Pfou_pc, Pgazcons_pc et Paux_pc.

8.24.3.6.2 Calcul du GUE à charge partielle

On calcul GUE_{LR} par :

$$GUE_{LR} = Pfou_{LR}/Pgaz_{\_consLR} = CCP_{LR} * GUE_{\_pc}$$

On calcul $Pgaz_{cons\_LR}$ par :

$$Pgaz_{cons\_LR} = Pgaz_{LR} + Pgazma_{LR} \quad (1394)$$

En fonctionnement à charge partielle, on distingue deux cas :

- le brûleur fonctionne en variation continue de puissance,
- le brûleur fonctionne en mode tout ou rien.

8.24.3.6.2.1 Fonctionnement en mode continu du brûleur

On rencontre ce type de fonctionnement pour les machines à régulation de puissance variable (Fonc_brûl = 1) lorsque :

$$Pfou_{LR} \geq (Pfou_{\_pc\_brut} \cdot LR_{contmin})$$

Avec :

$$LR = Pfou_{LR} / Pfou_{\_pc\_brut}$$

$$Pfou_{LR} = \min \{Q_{req\_act} ; Pfou_{\_pc}\}$$

On caractérise la valeur minimale de charge « utile » en fonctionnement continu, $LR_{contmin}$, et la valeur de Ccp correspondante, $CCP_{LRcontmin}$.

$LR_{contmin}$ et $Ccp_{LRcontmin}$ peuvent être obtenus par des essais à $Tamont_{pivot}$ et $Taval_{pivot}$.

En absence d'essais, des valeurs par défaut sont utilisées.

On admet que Ccp, égal à $GUE_{LR}/GUE_{\_pc}$, varie linéairement sur la plage $LR_{contmin}$; 1 :

$$CCP_{LR} = 1 + Acont / GUE_{\_pc} * (1 - LR) \quad (1395)$$

La pente de cette droite, dénommée Acont, est déterminée par l'équation suivante pour un LR légèrement supérieur à LRcontmin :

$$Acont = GUE_{\_pc} * (CCP_{LRcontmin} - 1) / (1-LR_{LRcontmin}) \quad (1396)$$

Nota : un changement du jeu de températures amont/aval ne nécessite pas de modification de la valeur de Acont ainsi déterminée.

- Pgaz est calculé selon l'équation suivante :

$$Pgaz_{LR} = Pfou_{LR} / (CCP_{LR} * GUE_{\_pc})$$
$$Pgazma_{LR} = 0 \quad (1397)$$

8.24.3.6.2.2 Fonctionnement en cycle marche arrêt du brûleur

On rencontre ce type de fonctionnement :

- avec les machines à régulation de brûleur tout ou rien (Fonc_brûl = 2) ($LR_{contmin} = 1$),
- avec les machines à régulation de puissance variable (Fonc_brûl = 1), lorsque :

$$Pfou_{LR} < (Pfou_{\_pc\_brut} * LR_{contmin})$$

Avec :

$$LR = Pfou_{LR} / Pfou_{\_pc\_brut}$$
$$Pfou_{LR} = \min \{Q_{req\_act} ; Pfou_{\_pc}\}$$

Le brûleur fonctionne en cycle marche arrêt. La marche correspond au valeur de $LR_{contmin}$ définie au paragraphe précédent.
En valeur moyenne sur une heure :

- **Pgaz** varie linéairement entre 0 pour LR = 0 et $Pgaz_{cons\_LRcontmin}$ pour LR correspondant à LRcontmin. Pgaz est calculé selon l'équation suivante :

$$Pgaz_{LR} = Pgaz_{cons\_LRcontmin} * LR_{rel}$$
avec
$$LR_{rel} = LR / LR_{contmin} \quad (1398)$$

- **$Pgaz_{ma}$** est nulle à charge nulle et à charge $LR_{contmin}$.

A l'intérieur de cette plage, **$Pgaz_{ma}$** est égal à :

$$Pgaz_{ma\_LR} = Pgaz_{cons\_LRcontmin} * Deq / Tcyc + Pertes / Rdt_{comb} * (1 - LR_{rel})$$
et
$$1/Tcyc = LR_{rel} * (1 - LRrel) / Dfou0 \quad (1399)$$

Deq est la durée équivalente liée aux irréversibilités, c'est une caractéristique de la machine.

Pertes représente les pertes de la machine durant les phases d'arrêt, ramenées à la température ambiante de la génération :

$$Pertes = Pertes_{40°C} \times \frac{60 - \theta_{amb}(h)}{40} \quad (1400)$$

Dfou0 : durée de fonctionnement à charge tendant vers 0. Elle correspond simplement au temps nécessaire pour remonter le circuit de distribution en température quand il n'y a pas émission et que le brûleur fonctionne. Dfou0 est donc calculé sur la base de $Pfou_{LRContmin}$.

Le tableau ci-dessous en donne les valeurs.

Inertie	Forte	Moyenne	Légère	Très légère
Typologie	Planchers et plafonds chauffants ou rafraîchissants intégrés au bâti (forte inertie)	Radiateurs, plafonds chauffants ou rafraîchissants d'inertie moyenne	Ventilo-convecteurs (valeur par défaut pour la distribution à eau), plafonds chauffants ou rafraîchissants d'inertie faible	Systèmes à air
Dfou0 (min)	32	19	6	2

Figure 167 : Valeurs conventionnelles de Dfou0 à pleine puissance

Le paramètre Deq est fixé conventionnellement aux valeurs suivantes selon la technologie et la fonction de la machine :

Deq en minutes	air/eau	eau glycolée/eau, eau/eau
Chauffage	0,5	1,3
Refoidissement	0,5	1,5
ECS	2,1	2,9

Tableau 228: Valeurs conventionelles de Deq pour les machines à absorption gaz

Les pertes $Pertes_{40°C}$ et le rendement Rdt_{comb_pivot} peuvent résulter d'essais ou de valeurs par défaut (cf § « Valeurs déclarées et par défaut »).

En valeur moyenne sur une heure, la valeur des pertes à utiliser dans le calcul est celle des pertes par les parois du point pivot car on considère que la baisse, durant la durée d'arrêt, de la puissance des pertes par les parois est « compensée » par celle liée au tirage naturel résiduel.

Nota : dans le cas général, ni $Pgaz_{cons}$ ni le GUE ne sont linéaires. Si $Pgaz_{ma}$ est négligeable, les pertes sont fonction de LR (et pas le GUE).

8.24.3.6.2.3 Calcul de Paux à charge partielle

On calcule $Paux_{LR}$ par

$$Paux = Min(Paux_{\_pc} ; Paux0 + (Paux_{\_pc}-Paux0)*LR_{rel})$$

8.24.3.6.2.4 Fonctionnement à charge nulle

Dans ce cas :

- la puissance gaz absorbée (Pgazcons0) est nulle ;
- la puissance électrique absorbée est celle des auxiliaires à charge nulle (Paux0), sauf si la machine elle-même est hors tension.

8.24.3.6.2.5 Fonctionnement avec appoint

On considère ici un appoint de n'importe quel type. Le fonctionnement du GAHP (refroidisseur) est prioritaire. Au delà du taux de charge de 1, l'appoint est utilisé et sa ou ses consommations ajoutée(s) aux précédentes.

8.24.3.6.3 Mode ECS

Cette partie concerne les systèmes pris en compte dans cette fiche lorsqu'ils fonctionnent en mode ECS (GAHP), de type air - eau, eau glycolée – eau et eau - eau.

La valeur de $Pgaz_{conspc\_ECS}$ peut être identique ou différente de $Pgaz_{cons\_pc}$ en mode chauffage.

Le mode de régulation du brûleur en mode ECS peut être identique ou différent de celui en mode chauffage (cf § « Valeurs déclarées et par défaut »).

Que le couple $Pgaz_{conspc\_ECS}$ / mode de régulation brûleur soit identique ou différent de celui en mode chauffage, les modalités de calcul du GUE et de la puissance électrique absorbée à charge partielle ou nulle en mode ECS sont identiques à celles en mode chauffage.

Les valeurs par défaut à utiliser sont données au paragraphe « Valeurs déclarées et par défaut. ».

8.24.3.6.4 Calcul final des données de sortie

On génère les résultats sous une forme directement utilisable pour les calculs concaténés de C selon le type d'usage (postes) et le type d'énergie.

Les lignes représentent les différentes postes de consommations associés au composant générateur. Les colonnes correspondent aux différents types d'énergie.

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau de chaleur*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 229: Matrice des consommations en énergies finales $\{Q_{cef\ (poste;énergie)}\}$

$$Q_{cef(idfonction;id\_engen)} = Pgaz_{cons\_LR} * Rdim \quad (1401)$$

Taux de charge

Si $Pfou_{\_pc\_brut} = 0$ alors $T_{charge} = 0$

Sinon

$$\tau_{charge} = \frac{P_{fou\_LR}}{P_{fou\_pc\_brut}} \quad (1402)$$

Consommation des auxiliaires

$$W_{aux,pro} = P_{aux} * Rdim \quad (1403)$$

Performances

si $id_{fonction} = 1$

$$\eta_{eff}(h) = GUEch_{LR} \quad (1404)$$

si $id_{fonction} = 2$

$$\eta_{eff}(h) = GUEfr_{LR} \quad (1405)$$

si $id_{fonction} = 3$

$$\eta_{eff}(h) = GUEecs_{LR} \quad (1406)$$

Energie fournie

$$P_{fou} = P_{fou\_LR} * Rdim \quad (1407)$$

Energie restant à fournir

$$Q_{rest} = Q_{rest\_act} * Rdim \quad (1408)$$

Rejet dans le cas d'un générateur thermodynamique

Dans le cas des générateurs thermodynamiques uniquement ($503 \leq id_{type} \leq 509$), on calcule le rejet, nécessaire à la modélisation de la source amont au pas de temps suivant. Le rejet est comptabilisé négativement en chauffage et ECS, et positivement en froid :

Si fonctionnement en chauffage ou ECS, alors

$$\phi_{rejet} = MIN(0; Pgaz_{cons\_LR} - P_{fou\_LR}) * R\dim \quad (Wh) \quad (1409)$$

Sinon

$$\phi_{rejet} = (Pgaz_{cons\_LR} + P_{fou\_LR}) * R\dim \quad (Wh) \quad (1410)$$

8.24.3.6.4.1 Valeurs déclarées et par défaut

- Le type de fonctionnement du brûleur retenu par défaut est tout ou rien : *Fonc_brûl = « 1 : Fonctionnement en mode continu du brûleur ou en cycles marche arrêt »,*
- Par défaut, on retient l'absence d'échangeur eau chauffage / fumées : $id_{echangeur}$ = *« 0 : pas d'échangeur ».*
- Le type de cycle à absorption en refroidissement (*Cycle_fr*) ne possède pas de valeur par défaut.
- Pour les autres caractéristiques, à savoir : $LR_{contmin}$, $Ccp_{LRcontmin}$, Paux0, Pertes et Rdt_{comb}
  - Valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation. La valeur saisie est la valeur utilisée dans le calcul.
  - Valeur justifiée par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation. Les corrections suivantes sont appliquées :

$LR_{contmin}$ = LRcontmin mesuré + 0,1 (1411)

$Ccp_{LRcontmin}$ = 0,9 x $Ccp_{LRcontmin}$ mesuré (1412)

Paux0 = 1,1 x Paux0 mesuré (1413)

$Pertes_{40°C}$ = 1,1 x $Pertes_{40°C}$ pivot mesurées (1414)

Rendement de combustion, Rdt_{comb} : (1415)

- en refroidissement : Rdt_{comb} = 0,95 x Rdt_{comb} pivot mesuré
- en chauffage :

Si $id_{echangeur}$ = « 0 : pas d'échangeur » : Rdt_{comb} = 0,95 Rdt_{comb} pivot

mesuré

Sinon (*« 1 : avec échangeur »)* :

Rdt_{comb} = 1,1 . Rdt_{comb} pivot mesuré - 0,12

- en production d'ECS :

Si $id_{echangeur}$ = *« 0 : pas d'échangeur » :* Rdt_{comb} = 0,90 Rdt_{comb} pivot chauffage mesuré

Sinon (*« 1 : avec échangeur »)*, Rdt_{comb} = 0,95 Rdt_{comb} pivot mesuré

- Si les valeurs n'entrent pas dans l'un des deux statuts ci-dessous, on retient les valeurs par défaut suivante :

$LR_{contmin}$:

- en chauffage ou refroidissement : $LR_{contmin}$ = 0,70 (1416)
- en production ECS : $LR_{contmin}$ = 0,65

$Ccp_{LRcontmin}$:

- en chauffage ou refroidissement : $Ccp_{LRcontmin}$ = 0,90 (1417)
- en production ECS : $Ccp_{LRcontmin}$ = 0,75

Paux0 :

- en mode chauffage ou production ECS :

Si Pnom ≤ 20kW, Paux0 = 30 W,

Si Pnom ≥ 400kW, Paux0 = 300 W,

Sinon, $Paux0 = 30 + \frac{300-30}{400-20}.(Pnom - 20)$ (Paux0 en W, Pnom en kW) (1418)

- en mode refroidissement :

Si Pnom ≤ 20kW, Paux0 = 30 W,

Si Pnom ≥ 200kW, Paux0 = 600 W,

Sinon, $Paux0 = 30 + \frac{600-30}{200-20}.(Pnom - 20)$ (Paux0 en W, Pnom en kW)

$Pertes_{40°C}$:

- en chauffage :

Si Pnom ≤ 20kW, $Pertes_{40°C}$ = 900 W,

Si Pnom ≥ 400kW, $Pertes_{40°C}$ = 5500 W,

Sinon, $\text{Pertes}_{40°C} = 900 + \frac{5500-900}{400-20}.(Pnom - 10)$ ($Pertes_{40°C}$ en W, Pnom en kW)

- en refroidissement : (1419)

Si Pnom ≤ 10kW, $Pertes_{40°C}$ = 900 W,

Si Pnom ≥ 200kW, $Pertes_{40°C}$ = 5500 W,

Sinon, $\text{Pertes}_{40°C} = 900 + \frac{5500-900}{200-10}.(Pnom - 10)$ (avec $Pertes_{40°C}$ en W, Pnom en kW)

- en production ECS : $Pertes_{40°C}$ *est calculé comme en chauffage (ci-dessus), puis multiplié par un coefficient 1,1.*

Rendement de combustion Rdt_{comb} :

- en mode refroidissement :

  $Rdt_{comb} = 0,80$

- en mode chauffage :

  Si $id_{echangeur}$ *= « 0 : pas d'échangeur » :* $Rdt_{comb} = 0,80$

  Sinon (*« 1 : avec échangeur »*), $Rdt_{comb} = 1,10 – 0,003. (Val_{\theta aval} (N_{\theta aval}) + 5°C)$ (1420)

  Où $Val_{\theta aval}(N_{\theta aval})$ *est la température aval la plus élevée dans les matrices de performance de la machine. Par exemple* $Val_{\theta aval} (N_{\theta aval})$ *= 50°C (régime d'eau 55/45°C) pour la GAHP air/eau classique.*

- en mode ECS :

  Si $id_{echangeur}$ *= « 0 : pas d'échangeur » :* $Rdt_{comb} = 0,80$

  Sinon (*« 1 : avec échangeur »*), $Rdt_{comb} = 0,92$

8.25 C_Gen_PAC Moteur_Gaz

8.25.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme traite la modélisation des pompes à chaleur réversibles à compression par moteur thermique alimenté au gaz naturel de technologie « air extérieur/air recyclé », noté PAC MG air/air par la suite. Pour ce type de machines, destinées à assurer le chauffage et le refroidissement d'un ensemble de locaux, la distribution d'énergie fait partie intégrante de la machine (Débit de Réfrigérant Variable). Une fonction de production d'ECS indirecte par récupération de chaleur sur le moteur peut également être mise en œuvre selon les projets.

La figure suivante représente le fonctionnement détaillé du mode chauffage

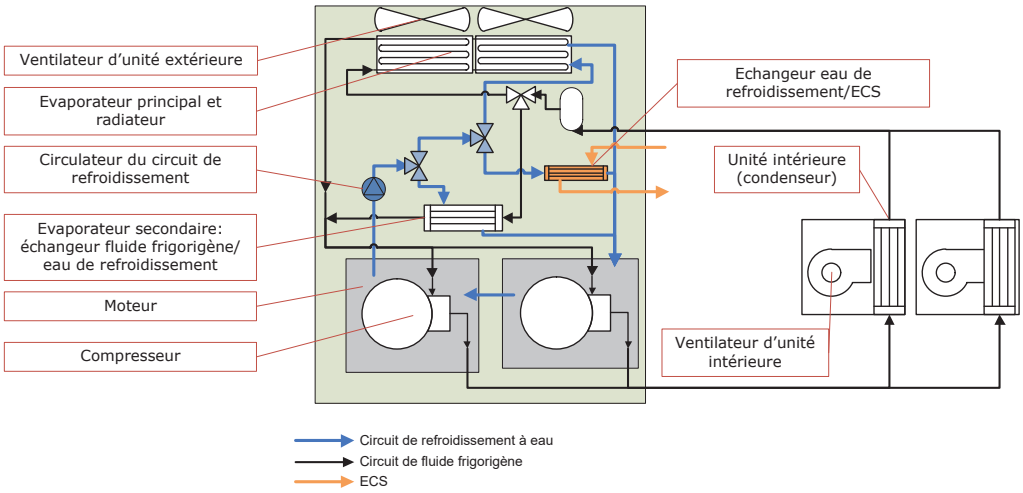


Figure 168 – Représentation du fonctionnement en mode chauffage

8.25.2 NOMENCLATURE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{amont}(h)$	Température de la source amont (type air)	°C
$\theta_{aval(ch)}(h)$ $\theta_{aval(fr)}(h)$	Température de la source aval (type air)	°C
$\theta_{aval(ecs)}(h)$	Température en aval de l'échangeur de production ECS indirecte	°C
$Q_{req(ch)}(h)$ $Q_{req(fr)}(h)$	Demande en énergie pour un poste donné calculé au niveau de la génération.	Wh
$id_{fonction}(h)$	Mode de fonctionnement sollicité : *1 : chauffage*	Ent

	2 : refroidissement				

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_{fougen}	Mode de fonctionnement admis par le générateur : *Chauffage: 1* *Refroidissement : 2*	Ent			
Cat	Catégorie de générateur : *800: générateur thermodynamique dont le compresseur est entraîné par un moteur alimenté au gaz*	Ent			503
Id_{engen}	Identificateur de l'énergie principale : *Gaz : 1*	Ent	1	69	50
Id_{fluide_aval}	Nature du fluide aval : *1 : eau* *2 : air*	Ent	1	2	
Id_{fluide_amont}	Nature de la source amont : *2 : air*	Ent	1	3	
Syst_thermo_ch/fr	Technologie du générateur en chauffage/ refroidissement : 2 : PAC air extérieur / eau *3: PAC air extérieur / air recyclé*	Ent	1	-	
$\{\theta_{aval}(i)\}$	Liste des températures aval principales de la machine.	°C	-50	100	Voir selon technologie
$\{\theta_{amont}(j)\}$	Liste des températures amont principales de la machine.	°C	-50	100	
$N_{\theta aval}$	Nombre de températures aval principales	Ent	1		
$N_{\theta amont}$	Nombre de températures amont principales	Ent	1		
$\theta_{am,ms}$	Température seuil de basculement en dessous de laquelle l'évaporateur secondaire est seul à être utilisé (mode chauffage)	°C			-3
$Statut_{données\_PC}$	Statut des performances à pleine charge renseignées : *1 : il existe des valeurs de performance certifiées ou justifiées* *2 : il n'existe aucune valeur certifiée ou justifiée*	Ent	1	-	
Production d'ECS indirecte					
$Statut_{données\_ECS}$	Statut de l'efficacité de production indirecte d'ECS : *0 : Production indirecte d'ECS dont l'efficacité n'est pas connue (valeur par défaut)* *1 : Production indirecte d'ECS dont l'efficacité est déclarée par le fabricant* *2 : Production indirecte d'ECS dont l'efficacité est justifiée* *3 : Production indirecte d'ECS dont l'efficacité est certifiée*	Ent	0	3	
$\theta_{ECS,max}$	Température maximale de sortie du moteur pour la production indirecte ECS.	°C	0	90	75
$\theta_{aval(ecs),nom}$	Température moyenne nominale en aval de l'échangeur de production indirecte d'ECS	°C	0	90	55

$P_{pompe,ECS}$	Puissance absorbée par la pompe de charge de la production ECS indirecte (pompe extérieure à la machine).	W	0	+∞	
Saisie des performances certifiées ou justifiées					
{Statut(i,j)}	Matrice des statuts de données : *1 : valeur certifiée,* *2 : valeur justifiée.*	{Ent}	1	2	
{GUE(i,j)} *{EER(i,j)}*	Matrice des performances en mode chauffage (GUE)/refroidissement (EER) selon les températures amont et aval avant correction	{-}	0	+∞	
$\{P_{abs}(i,j)\}$	Matrice des puissances absorbées en gaz selon les températures amont et aval	{kW}	0	+∞	
$\{P_{aux,uext}(i,j)\}$	Matrice des puissances électriques d'auxiliaires des unités extérieures absorbées	{kW}	0	+∞	
$\{\eta_{th,ecs}(i,j)\}$	Efficacité de la production indirecte d'ECS en mode chauffage/refroidissement ramenée à P_{abs}, dans les conditions du point pivot	{-}	0	+∞	
Saisie des performances déclarées ou par défaut					
$Statut[GUE_{pivot}]$ $Statut[EER_{pivot}]$ $Statut[P_{aux\_uext\_pivot}]$	Statut des valeurs pivots : *1 : valeurs déclarées* *2 : valeur par défaut*	Ent	1	2	-
GUE_{pivot}	Valeur pivot déclarée des machines en mode chauffage lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	-	0	+∞	-
EER_{pivot}	Valeur pivot déclarée des machines en mode refroidissement lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	-	0	+∞	-
P_{abs_pivot}	Valeur pivot déclarée de puissance absorbée en gaz lorsqu'il n'y a pas de performance certifiée ou justifiée.	kW	0	+∞	-
$\eta_{th,ecs}$	Valeur pivot déclarée d'efficacité de production ECS ramenée à la puissance gaz consommée	-	0	+∞	-
Fonctionnement à charge partielle					
Fonct_moteur	Mode de fonctionnement du moteur : *0 : Fonctionnement en cycles marche arrêt du moteur (par défaut)* *1 : Fonctionnement à vitesse variable*	Ent	1	2	2
$Ccp_{LRcontmin}$	Coefficient de correction de la performance pour un taux de charge égal à $LR_{contmin}$ *2 : par défaut*	Réel	0	2	
$Statut[Ccp_{LRcontmin}]$	*1 : justifié* *0 : certifié*	Ent	0	2	
$LR_{contmin}$	Taux minimal de charge en fonctionnement continu. (= 1 si machine tout ou rien)	Réel	0	1	
D_{eq}	Durée équivalente liée aux irréversibilités	Min	0	60	
D_{fou0}	Durée de fonctionnement à charge tendant vers zéro.	Min	0	60	
Puissance d'auxiliaires de la machine					

$Statut\_P_{aux0\%}$	Statut de la saisie de la puissance d'auxiliaire à charge nulle *1 : déclarée* *2 : par défaut*	Ent	0	1	
$P_{aux0\%}$	Puissance électrique d'auxiliaire à charge nulle	W	0	+∞	
Préprocesseur : composition des matrices de performance					
$\{Cnn_{av\_Pabs}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage de Pabs (θ_{aval} = θj) à Pabs(θ_{aval}=θi), pour θ_{amont} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_Pabs}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage de Pabs(θ_{am}=θj) à Pabs(θ_{am}=θi), pour θ_{aval} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{av\_GUE}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage entre de GUE (θ_{aval}=θj) à GUE(θ_{aval}=θi), pour θ_{amont} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_GUE}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage de GUE(θ_{am}=θj) à GUE(θ_{am}= θi), pour θ_{aval} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{av\_Paux}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage entre de $P_{aux,uext}$ (θ_{aval}=θj) à $P_{aux,uext}$ (θ_{aval}=θi), pour θ_{amont} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_Paux}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage de $P_{aux,uext}$(θ_{am}=θj) à $P_{aux,uext}$ (θ_{am}= θi), pour θ_{aval} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{av\_\eta th,ecs}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage entre de $\eta_{th,ecs}$(θ_{aval}=θj) à $\eta_{th,ecs}$(θ_{aval}=θi), pour θ_{amont} fixée.	Réel			
$\{Cnn_{am\_\eta th,ecs}(\theta i, \theta j)\}$	Coefficient de passage de $\eta_{th,ecs}$(θ_{am}=θj) à $\eta_{th,ecs}$(θ_{am}= θi), pour θ_{aval} fixée.	Réel			

Voir selon technologie

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
R_{dim}	Nombre de machines identiques.	entier	1	-	
$Statut[P_{aux,uint,pc}]$	Statut de la saisie de la puissance absorbée par les unités intérieures : *1 : déclarée* *2 : par défaut*	Ent	0	1	
$P_{aux,uint,pc}$	Puissance électrique absorbée par les unités intérieures à pleine charge	W	0	+∞	

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{fou}(h)$	Energie totale effectivement fournie par le générateur pour le mode sollicité.	Wh
$\{Q_{cef}(h)\}$	Matrice des consommations par poste et par type d'énergie	Wh
$Q_{cons}(h)$	Consommation horaire du générateur en énergie finale.	Wh
$Q_{ecs}(h)$	Quantité d'énergie disponible pour la production ECS indirecte au pas de temps h	Wh
$Q_{rest}(h)$	Energie restant à fournir (dépassant la puissance maximale du générateur) pour le mode sollicité.	Wh
$W_{aux,pro}(h)$	Consommation électrique d'auxiliaires du générateur	Wh

$\Phi_{rejet}(h)$	Quantité d'énergie rejetée à la source amont (générateur thermodynamique)	Wh
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur	-
$\eta_{eff}(h)$	Efficacité du générateur en énergie finale	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
Val_util_max	valeur maximale de la performance pour la valeur pivot d'une machine lorsqu'il n'y a pas de valeurs certifiées ou justifiées. si $Idf_{onction}$ = 1 (chauffage) Syst_Thermo_CH = 1 (PAC MG air/eau) : Val_util_max = 1.51 2 (PAC MG air/air) : Val_util_max = 1.4 si $Idf_{onction}$ = 2 (refroidissement) Type_cycle_FR = 1 et Syst_Thermo_FR = 1 (PAC MG air/eau) : Val_util_max = 0.7 2 (PAC MG air/air) : Val_util_max = 1.25 Type_cycle_FR = 2 et Syst_Thermo_FR = 1 (PAC MG air/eau) : Val_util_max = 1.0 2 (PAC MG air/air) : Val_util_max = 1.25	-
$\{GUE_{util}(i,j)\}$ $\{EER_{util}(i,j)\}$ $\{P_{aux,uext}(i,j)\}$	Matrice des performances en mode chauffage/refroidissement selon les températures amont et aval après remplissage complet et corrections associées aux statuts de données.	{-}
$\{\eta_{th,ecs}(i,j)\}$	Matrice des efficacités de la production ECS indirecte ramenée à P_{abs} en fonction des températures amont et aval	{-}
$LR(h)$	Taux de charge par rapport à la puissance maximale (pleine charge)	-
$LR_{cycl}(h)$	Taux de charge calculé par rapport à LRcontmin, lorsque le compresseur fonctionne en marche/arrêt.	-
$GUE\_{pc}(h)$ $GUE\_{LRcontmin}(h)$ $GUE\_{LR}(h)$	GUE utile à pleine charge et à charge réelle	-
$P_{fou\_pc}(h)$ $P_{fou\_LRcontmint}(h)$ $P_{fou\_LR}(h)$	Puissance fournie par une machine à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle	W
$P_{abs\_pc}(h)$ $P_{abs\_LR}(h)$	Puissance absorbée par une machine à pleine charge et à charge réelle	W
$P_{gaz\_PC}(h)$ $P_{gaz\_LRcontmint}(h)$ $P_{gaz\_LR}(h)$	Puissance appelée par le compresseur à pleine charge, à charge minimale du fonctionnement continu et à charge réelle.	W
$P_{aux,uext,pc}(h)$	Puissance appelée par les auxiliaires des unités extérieures en chauffage	W

$P_{gaz\_MA,LR}(h)$	Puissance appelée à cause des irréversibilités à charge réelle	W
$Q_{req,act}(h)$	Quantité d'énergie à fournir par une machine	W
$Q_{rest,act}(h)$	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant, pour un générateur.	Wh
$\eta_{th,ecs}(h)$	Efficacité de la production indirecte ECS ramenée à la consommation de gaz	-
$LIM_{ECS}(h)$	Coefficient de limitation de la puissance de production indirecte d'ECS associé à la température limite de l'eau en sortie du moteur	-
$W_{aux,ecs}(h)$	Consommation de la pompe de charge de la production ECS indirecte	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_{pa}	Chaleur massique de l'air	$J.K^{-1}.kg^{-1}$	1006
$GUE_{util\_max(ch)}$	Valeur maximale de GUE pivot	-	1,4
$EER_{util\_max(fr)}$	Valeur maximale de EER pivot	-	1,25
$Ccp_{LRcontmin,def}$	Valeur par défaut de $Ccp_{LRcontmin}$	-	1,0
$LR_{contmin,def}$	Valeur par défaut de $LR_{contmin}$	-	0,4
$P_{aux0,def}$	Valeur par défaut de la puissance d'auxiliaire absorbée à charge nulle	kW	0,12
$\eta_{th,ecs,utile\_max(ch)}$ $\eta_{th,ecs,utile\_max(fr)}$	Valeur utile maximale pour $\eta_{th,ecs}$ pivot en chauffage et refroidissement	kW	
$P_{aux,uint,def(ch)}$ $P_{aux,uint,def(fr)}$	Valeur par défaut de la puissance absorbée à pleine charge par l'ensemble des unités intérieures en chauffage et refroid.	kW	Voir § 8.25.3.1
$P_{aux,uext,pivot,utile\_min(ch)}$ $P_{aux,uext,pivot,utile\_min(fr)}$	Valeurs utiles minimales de la puissance des auxiliaires des unités extérieures en chauffage et refroid.	kW	

Tableau 230 : Nomenclature du modèle

8.25.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La modélisation du fonctionnement passe par deux étapes :

3) Le fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales de sources,
4) Le fonctionnement à charge partielle ou nulle.

8.25.3.1 ***Prise en compte des Statuts de donnée***

La première étape consiste, en amont du calcul annuel, à composer les matrices de performances de GUE et Pabs en fonction des températures de sources à partir des statuts des différences données utilisées.

Statuts de données des performances à pleine charge

La ou les puissances absorbées à pleine charge ont toujours le statut de valeur déclarée ; aucune correction liée au statut de données n'est appliqué à ce niveau. A minima, une valeur de puissance absorbée doit être saisie pour chaque valeur de *GUE* saisies.

Pour les coefficients de performances (GUE) saisis par l'utilisateur, les différents statuts de données associées sont les suivants :

- **certifié :** la valeur est certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes définies dans le Tableau 231.

  Aucune correction du ou des GUE saisis n'est appliquée.

- **justifié :** la valeur est mesurée au cours d'un essai réalisé par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes définies dans le Tableau 231.

  Une réduction de 10% du ou des GUE saisis est appliquée.

- **déclaré :** la valeur pivot est déclarée par le fabricant du produit.

  Une réduction de 20% du GUE pivot saisi est appliquée. Le GUE pivot est de plus plafonné à une valeur utile maximale.

- **par défaut** : aucune information disponible.

  Une valeur de GUE pivot forfaitaire, égale à la valeur utile maximale réduite de 20%, est appliquée.

Pour résumer pour le mode chauffage (en refroidissement remplacer GUE par EER) :

StatutGUE	Correction
Certifié(s)	GUE_{util} (i;j)= GUE(i;j)
Justifié(s)	GUE_{util} (i;j)= 0,9 x GUE(i;j)
Déclaré (pivot seulement)	GUE_{pivot_util} = MIN [0,8 x GUE_{pivot}; $GUE_{utilmax}$(ch)]
Par défaut (pivot seulement)	GUE_{pivot_util} = 0,8 x $GUE_{utilmax}$(ch)

Tableau 231: Statuts GUE et correction

Pour la PAC MG air extérieur/eau :

- En chauffage : $GUE_{utilmax}(ch) = 1.3$
- En refroidissement : $EER_{utilmax}(fr) = 1.0$

Pour la PAC MG air extérieur/air recyclé :

- En chauffage : $GUE_{utilmax}(ch) = 1.4$
- En refroidissement : $EER_{utilmax}(fr) = 1.25$

A l'heure actuelle, il n'existe pas de norme d'essai relative aux PAC MG.

Il existe un référentiel d'essai dans le cadre de la certification NF PAC : NF 4146 – Rev 5 Pr 3 (NF PAC) – Partie 9 – Annexe E.

Statuts de données des performances à charge partielle (en mode à vitesse variable) :

Ce statut concerne les paramètres $LR_{contmin}$ et $Ccp_{LRcontmin}$, qui peuvent être obtenus par une mesure des performances à charge partielle proche de la vitesse minimale de fonctionnement du moteur. Les conditions de recours aux différents statuts sont identiques à celles évoquées pour les performances à pleine charge. A noter qu'il n'existe pas de statut « déclaré » pour ces paramètres.

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- **certifié :** *aucune correction appliquée*
- **justifié :**
  - *$LR_{contmin}$ est augmenté de 0,05,*
  - *$Ccp_{LRcontmin}$ est diminué de 10%,*
- **par défaut :**
  - *$LR_{contmin}$ est fixé à $LR_{contmin,def}$ = 0,4*
  - *$Ccp_{LRcontmin}$ est fixé à $CCp_{Lrcontmin,def}$ = 1,0*

Statut de données pour les puissances d'auxiliaires

Pour ce qui est des puissances électriques absorbées par les auxiliaires (ventilateurs, pompes, régulation…), le traitement diffère selon qu'il s'agit de l'unité extérieure ou des unités intérieures.

Pour ce qui est de l'unité extérieure (paramètre $P_{aux,uext}$), les conditions de recours aux différents statuts de données sont identiques à celles évoquées pour les performances à pleine charge. Les corrections appliquées sont les suivantes :

- **certifié :** *aucune correction appliquée,*

  justifié : *une augmentation de 10% du ou des $P_{aux,uext,pivot}$ saisis est appliquée,*
- **déclaré :** *une augmentation de 20% du $P_{aux,uext,pivot}$ saisi est appliquée. La valeur est de plus plafonnée à $P_{aux,uext,pivot,utile\_min}$.*
- **par défaut :** *une valeur de $P_{aux,uext}$ forfaitaire est utilisée, prise égale à 120% de $P_{aux,uext,pivot,utile\_min}$.*

Où $P_{aux,uext,pivot,utile\_min}$ est pris égal à 3% de la puissance absorbée gaz à pleine charge dans les conditions pivot, en chauffage comme en refroidissement :

$$P_{aux,uext,pivot,utile,\min(ch)} = 0{,}03 \cdot P_{abs,pivot(ch)}$$
$$P_{aux,uext,pivot,utile,\min(fr)} = 0{,}03 \cdot P_{abs,pivot(fr)} \quad (1421)$$

Dans le cas d'une saisie au travers d'une matrice de puissance absorbée, la valeur de $\{ValP_{abs}\}$

correspondant à $P_{abs,pivot}$ est explicitée ci-dessous :

$$P_{abs,pivot(ch)} = ValPabs(4,4)$$
$$P_{abs,pivot(fr)} = ValPabs(4,2) \quad (1422)$$

Pour ce qui est de l'unité intérieure ($P_{aux,uint}$), étant donné qu'il s'agit d'un paramètre d'intégration lié au dimensionnement des unités intérieures, aucune correction n'est appliquée. Une valeur par défaut est cependant proposée :

$$P_{aux,uint,\mathrm{def}(ch)} = 0{,}06 \,.\, P_{abs,pivot(ch)}$$
$$P_{aux,uint,\mathrm{def}(fr)} = 0{,}06 \,.\, P_{abs,pivot(fr)} \quad (1423)$$

De même, pour la puissance électrique absorbée à charge nulle (P_{aux0}), étant donné qu'il s'agit d'un paramètre de second ordre, la prise en compte des statuts de données est simplifiée comme suit :

- **certifié ou justifié :** aucune correction n'est appliquée,
- **par défaut :** P_{aux0} est fixé à $P_{aux0,def} = 0{,}12$ kW

Statut de données pour la production d'ECS indirecte

Les conditions de recours aux différents statuts sont identiques à celles évoquées pour les performances à pleine charge. Dans le cas de $\eta_{th,ecs}$, seule la valeur pivot peut être certifiée ou justifiée. La matrice complète n'est jamais saisie.

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- **certifié (*$Statut_{données\_ECS}$ =3)** : *aucune correction n'est appliquée,*
- **justifié (*$Statut_{données\_ECS}$ =2)** : *une augmentation de 10% du ou des valeurs de $\eta_{th,ecs,pivot}$ appliquées,*
- **déclaré (*$Statut_{données\_ECS}$ =1)** : *une augmentation de 20% du $\eta_{th,ecs,pivot}$ est appliqué. $\eta_{th,ecs,pivot}$ est par ailleurs plafonnée à une valeur utile maximale $\eta_{th,ecs,utile\_max}$,*
- **par défaut (*$Statut_{données\_ECS}$ =0)** : *une valeur de $\eta_{th,ecs}$ pivot forfaitaire est appliquée : la valeur utile maximale $\eta_{th,ecs,utile\_max}$ réduite de 20%.*

Avec :

$$\eta_{th,ecs,utile,\max(ch)} = 0{,}15$$
$$\eta_{th,ecs,utile,\max(fr)} = 0{,}50 \quad (1424)$$

8.25.3.2 *Matrices de Performance à pleine charge en chauffage*

8.25.3.2.1 PAC MG air extérieur / eau

Syst_Thermo_CH = 1

Val_util_max = 1.3

Les performances à pleine charge en chauffage des PAC MG air/eau sont décrites au travers de matrices identiques au format identique à celles d'une PAC à absorption gaz air extérieur/eau.

On décrit 4 matrices pour chaque paramètre de performance à pleine charge suivant :

- GUE, coefficient de performance,

- P_{abs}, puissance absorbée en énergie gaz,
- P_{aux}, puissance électrique absorbée par les auxiliaires,
- Statut, statut de données renseignées (*1 : certifié* ou *2 : justifié*),
- $\eta_{th,ecs}$, efficacité de la production indirecte d'ECS ramenée à la puissance consommée en gaz P_{abs}.

			Températures amont principales (°C) *Air extérieur*				
			-15	**-7**	**2***	**7**	**20**
		Priorité	5	2	3	1	4
Températures aval principales (°C) Eau *Air intérieur*	**23.5**	4					
	32.5	1				Pivot	
	42.5	2					
	51	3					
	60	5					

** : Pour la matrice $\eta_{th,ecs}$, le point à 2°C de température amont est remplacé par 5°C.*

Figure 169 : Format des matrices de performance en chauffage des PAC MG air/eau

Dans chaque colonne (correspondant aux températures θ_{amont}) où au moins une valeur de GUE est renseignée, les valeurs de GUE doivent être renseignées aux mêmes températures θ_{aval}.

Pour une température θ_{amont} fixée, une valeur de GUE à une température θ_{aval} ne peut être renseignée que si la valeur de GUE pour la température θ_{aval} de priorité inférieure est également renseignée.

De même, pour une température θ_{aval} fixée, une valeur de GUE à une température θ_{amont} ne peut être renseignée que si la valeur de GUE pour la température θ_{amont} de priorité inférieure est également renseignée.

A chaque case de la matrice de GUE saisie doit correspondre une case de la matrice de Pabs saisie.

La valeur 'pivot' est la valeur pour θ_{am} = 7°C ; θ_{av} = 32.5°C.

La température $\theta_{am,ms}$ est la température en dessous de laquelle l'évaporateur secondaire est seul à être utilisé. GUE et P_{abs} s'avèrent constants en dessous de cette température seuil. Conventionnellement, on fixe $\theta_{am,ms}$ = -3°C.

Note : les températures aval sont assimilées à des températures moyennes départ/retour d'eau. Les températures amont sont les températures de bain dans lequel les couronnes de captage sont immergées au cours des essais de performance. La caractérisation des performances ne peut se faire qu'en suivant les ordres de priorités définis ci-dessus.

Les autres valeurs sont calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
32.5°C
32.5°C, 42.5°C
32.5°C, 42.5°C, 51°C
23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C

Températures amont
7 °C
-7 °C, 7 °C
-7°C, 2°C, 7°C
-7°C, 2°C; 7°C, 20°C

23.5°C, 32.5°C, 42.5°C, 51°C, 60°C	-15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 232 : Températures aux sources en chauffage pour la PAC MG air/eau

La construction des matrices à partir d'une ou plusieurs valeurs de GUE, P_{abs}, $P_{aux,uext}$ ou $\eta_{th,ecs}$ est réalisée de la manière décrite ci-dessous.

On commence par remplir intégralement la colonne pivot, c'est-à-dire celle contenant la valeur pivot.

La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEch(4,3)} = 0

{ValGUEch(4,3)} = {ValGUEch(4,2)} * $Cnnav_{\_GUEch}$(42.5, 32.5)

si {ValGUEch(4,4)} = 0

{ValGUEch(4,4)} = {ValGUEch(4,3)} * $Cnnav_{\_GUEch}$(51, 42.5)

si {ValGUEch(4,1)} = 0

{ValGUEch(4,1)} = {ValGUEch(4,2)} * $Cnnav_{\_GUEch}$(23.5, 32.5)

si {ValGUEch(4,5)} = 0

{ValGUEch(4,5)} = {ValGUEch(4,4)} * $Cnnav_{\_GUEch}$(60, 51)

Les coefficients $Cnn_{av}(Y,X)$ utilisés pour passer de la valeur à la température aval X à celle à la température aval Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnav_{\_GUE}$(23.5, 32.5) = 1,15 $Cnnav_{\_GUE}$(42.5, 32.5) = 0.80 $Cnnav_{\_GUE}$(51, 42.5) = 0,80 $Cnnav_{\_GUE}$(60, 51) = 0,80	$Cnnav_{\_Pabs}$(23.5, 32.5) = 1 $Cnnav_{\_Pabs}$(42.5, 32.5) = 1.17 $Cnnav_{\_Pabs}$(51, 42.5) = 1.12 $Cnnav_{\_Pabs}$(60, 51) = 1,11
P_{aux}	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnav_{\_Paux}$(23.5, 32.5) =1 $Cnnav_{\_Paux}$(42.5, 32.5) = 1 $Cnnav_{\_Paux}$(51, 42.5) = 1 $Cnnav_{\_Paux}$(60, 51) =1	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}$ (23.5, 32.5) =1 $Cnnav\_\eta_{th,ecs}$ (42.5, 32.5) = 1 $Cnnav\_\eta_{th,ecs}$ (51, 42.5) = 1 $Cnnav\_\eta_{th,ecs}$ (60, 51) =1

Tableau 233: Valeurs de Cnnav en chauffage pour la PAC MG air/eau

Ensuite, on complète ligne par ligne les valeurs encore manquantes, à partir des valeurs de la colonne pivot et/ou des valeurs renseignées dans d'autres colonnes. Les valeurs renseignées sont bien sûr conservées.

Les lignes sont complétées comme suit (exemple du GUE) :

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEch(2,Ilign)} = 0

{ValGUEch(2,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUEch}$(-7, 7)

si {ValGUEch(3,Ilign)} = 0

{ValGUEch(3,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUEch}$(2, 7)

si {ValGUEch(5,Ilign)} = 0

{ValGUEch(5,Ilign)} = {ValGUEch(4,Ilign)} x Cnnam_GUEch(20, 7)

si {ValGUEch(1,Ilign)} = 0

{ValGUEch(1,Ilign)} = {ValGUEch(2,Ilign)} x Cnnam_GUEch(-15, -7)

Les coefficients Cnnam(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température amont X à celle à la température amont Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
Cnnam_GUE(-7, 7) =0.4941 Cnnam_GUE(2, 7) = 0,81 Cnnam_GUE(20, 7)= 1,37 Cnnam_GUE(-15, -7)= 0,78	Cnnam_Pabs(-7, 7) = 1,36 Cnnam_Pabs(2, 7) = 1,13 Cnnam_Pabs(20, 7) = 0,94 Cnnam Pabs(-15, -7) = 1,07
P_{aux}	$\eta_{th,ecs}$
Cnnam_Paux(-7, 7) = 1 Cnnam_Paux(2, 7) = 1 Cnnam_Paux(20, 7) = 1 Cnnam_Paux(-15, -7)= 1	Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (-7, 7) = 0 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (2, 7) = 0 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (20, 7) = 1 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (-15, -7)= 1

Tableau 234: Valeurs de Cnnam en chauffage pour la PAC MG air/eau

8.25.3.2.2 PAC MG air extérieur / air recyclé

Syst_Thermo_CH = 2

Val_util_max = 1.4

Les performances à pleine charge en chauffage des PAC MG air/air sont décrites au travers de matrices identiques au format identique à celles d'une PAC à compression électrique air extérieur/air recyclé.

On décrit 4 matrices pour chaque paramètre de performance à pleine charge suivant :

- GUE, coefficient de performance,
- P_{abs}, puissance absorbée en énergie gaz,
- P_{aux_uext}, puissance électrique absorbée par les auxiliaires de l'unité extérieure,
- Statut, statut de données renseignées (*1 : certifié* ou *2 : justifié*),
- $\eta_{th,ecs}$, efficacité de la production indirecte d'ECS ramenée à la puissance consommée en gaz P_{abs}.

			Températures amont principales (°C) *Air extérieur*				
			-15	**-7**	**2***	**7**	**20**
		Priorité	5	2	3	1	4
air principales	**5**	5					

	10	4					
	15	2					
	20	1				Pivot	
	25	3					

** : Pour la matrice $\eta_{th,ecs}$, le point à 2°C de température amont est remplacé par 5°C.*

Figure 170 : Format des matrices de performance en chauffage des PACMG air/air

Dans chaque colonne (correspondant aux températures θ_{amont}) où au moins une valeur de GUE est renseignée, les valeurs de GUE doivent être renseignées aux mêmes températures θ_{aval}.

Pour une température θ_{amont} fixée, une valeur de GUE à une température θ_{aval} ne peut être renseignée que si la valeur de GUE pour la température θ_{aval} de priorité inférieure est également renseignée.

De même, pour une température θ_{aval} fixée, une valeur de GUE à une température θ_{amont} ne peut être renseignée que si la valeur de GUE pour la température θ_{amont} de priorité inférieure est également renseignée.

A chaque case de la matrice de GUE saisie doit correspondre une case de la matrice de Pabs saisie.

La valeur 'pivot' est la valeur pour θ_{am} = 7°C ; θ_{av} = 20°C.

La température $\theta_{am,ms}$ est la température en dessous de laquelle l'évaporateur secondaire est seul à être utilisé. GUE et P_{abs} s'avèrent constants en dessous de cette température seuil.

Conventionnellement, on fixe $\theta_{am,ms}$ = -3°C.

Note : les températures aval sont assimilées à des températures moyennes départ/retour d'eau. Les températures amont sont les températures de bain dans lequel les couronnes de captage sont immergées au cours des essais de performance. La caractérisation des performances ne peut se faire qu'en suivant les ordres de priorités définis ci-dessus.

Les autres valeurs sont calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
20°C
20°C, 15°C
25°C, 20°C, 15°C
25°C, 20°C, 15°C, 10°C
25°C, 20°C, 15°C, 10°C, 5°C

Températures amont
7 °C
-7 °C, 7 °C
-7°C, 2°C, 7°C
-7°C, 2°C; 7°C, 20°C
-15°C, -7°C, 2°C, 7°C, 20°C

Tableau 235 : Températures aux sources en chauffage pour la PAC MG air/air

La construction des matrices à partir d'une ou plusieurs valeurs de GUE, P_{abs}, $P_{aux,uext}$ ou $\eta_{th,ecs}$ est réalisée de la manière décrite ci-dessous.

On commence par remplir intégralement la colonne pivot, c'est-à-dire celle contenant la valeur pivot.

La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUE(4,1)} = 0

$$\{ValGUE\ (4,1)\} = \{ValGUE\ (4,4)\} \times Cnnav_{\_GUE}(5, 20)$$

si {ValGUE(4,2)} = 0

$$\{ValGUE\ (4,2)\} = \{ValGUE\ (4,4)\} \times Cnnav_{\_GUE}(10, 20)$$

si {ValGUE(4,3)} = 0

{ValGUE (4,3)} = {ValGUE (4,4)} x $Cnnav_{\_GUE}(15, 20)$

si {ValGUE(4,5)} = 0

{ValGUE (4,5)} = {ValGUE (4,4)} x $Cnnav_{\_GUE}(25, 20)$

Les coefficients $Cnn_{av}(Y,X)$ utilisés pour passer de la valeur à la température aval X à celle à la température aval Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnav_{\_GUE}(15, 20) = 0,97$ $Cnnav_{\_GUE}(25, 20) = 0,92$ $Cnnav_{\_GUE}(10, 20) = 0,94$ $Cnnav_{\_GUE}(5, 20) = 0,91$	$Cnnav_{\_Pabs}(15, 20) = 1,05$ $Cnnav_{\_Pabs}(25, 20) = 1,0$ $Cnnav_{\_Pabs}(10, 20) = 1,1$ $Cnnav_{\_Pabs}(5, 20) = 1,15$
$P_{aux,uext}$	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnav_{\_Paux,uext}(15, 20) = 1$ $Cnnav_{\_Paux,uext}(25, 20) = 1$ $Cnnav_{\_Paux,uext}(10, 20) = 1$ $Cnnav_{\_Paux,uext}(5, 20) = 1$	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}(15, 20) = 1$ $Cnnav\_\eta_{th,ecs}(25, 20) = 1$ $Cnnav\_\eta_{th,ecs}(10, 20) = 1$ $Cnnav\_\eta_{th,ecs}(5, 20) = 1$

Tableau 236: Valeurs de Cnnav en chauffage pour la PAC MG air/air

Ensuite, on complète ligne par ligne les valeurs encore manquantes, à partir des valeurs de la colonne pivot et/ou des valeurs renseignées dans d'autres colonnes. Les valeurs renseignées sont bien sûr conservées.

Les lignes sont complétées comme suit (exemple du GUE) :

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUE(2,Ilign)} = 0

{ValGUE(2,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(- 7, 7)$

si {ValGUE(3,Ilign)} = 0

{ValGUE(3,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(2, 7)$

si {ValGUE(5,Ilign)} = 0

{ValGUE(5,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(20, 7)$

si {ValGUE(1,Ilign)} = 0

{ValGUE(1,Ilign)} = {ValGUE(2,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(- 15, -7)$

Les coefficients Cnnam(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température amont X à celle à la température amont Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnam_{\_GUE}(-7, 7) = 0,75$ $Cnnam_{\_GUE}(2, 7) = 0,8$ $Cnnam_{\_GUE}(20, 7) = 1,10$	$Cnnam_{\_Pabs}(-7, 7) = 1,35$ $Cnnam_{\_Pabs}(2, 7) = 1,15$ $Cnnam_{\_Pabs}(20, 7) = 0,90$

Cnnam_GUE(-15, -7)= 1	Cnnam_Pabs(-15, -7)= 1
$P_{aux,uext}$	$\eta_{th,ecs}$
Cnnam_Paux,uext(-7, 7) = 0,3 Cnnam_Paux,uext(2, 7) = 0,65 Cnnam_Paux,uext(20, 7) = 1 Cnnam_Paux,uex(-15, -7)= 0,3	Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (-7, 7) = 0 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (5, 7) = 0 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (20, 7) = 1 Cnnam_$\eta_{th,ecs}$ (-15, -7)= 1

Tableau 237: Valeurs de Cnnam en chauffage pour la PAC MG air/air

8.25.3.3 *Matrices de Performance à pleine charge en refroidissement*

8.25.3.3.1 PAC MG air extérieur / eau

Syst_Thermo_FR = 1

Val_util_max = 1.0

La matrice de performances des refroidisseurs air extérieur / eau est la suivante :

			Températures amont principales (°C) : *air extérieur*				
			5	**15**	**25**	**35**	**45**
		Priorité	5	4	3	1	2
Températures aval principales (°C) *Eau*	**4**	5					
	9,5	1				Pivot	
	15	3					
	20,5	2					
	26	4					

Figure 171 : Matrice de performance des refroidisseurs air extérieur/eau

La valeur 'pivot' est la valeur pour θ_{am} = 35 ; θ_{av} = 9,5.

Les autres valeurs sont calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
9.5 °C 9.5°C, 20.5°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C 4°C, 9.5°C, 15 °C, 20.5°C, 26 °C

Températures amont
35 °C 35 °C, 45 °C 35 °C, 45 °C, 25°C, 35 °C, 45 °C, 25°C, 15°C, 35 °C, 45 °C, 25°C, 15°C, 5°C

Tableau 238 : Températures aux sources en refroidissement des PAC MG air/eau

La construction des matrices à partir d'une ou plusieurs valeurs de GUE ou P_{abs} est réalisée de la manière décrite ci-dessous.

On commence par remplir intégralement la colonne pivot, c'est-à-dire celle contenant la valeur pivot.

La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUEfr(4,1)} = 0

{ValGUEfr(4,1)} = {ValGUEfr(4,2)} x $Cnnav_{GUEfr}$(4, 9,5)

si {ValGUEfr(4,3)} = 0

{ValGUEfr(4,3)} = {ValGUEfr(4,2)} x $Cnnav_{GUEfr}$(15, 9,5)

si {ValGUEfr(4,4)} = 0

{ValGUEfr(4,4)} = {ValGUEfr(4,3)} x $Cnnav_{GUEfr}$(20.5, 15)

si {ValGUEfr(4,5)} = 0

{ValGUEfr(4,5)} = {ValGUEfr(4,4)} x $Cnnav_{GUEfr}$(26, 20.5)

Les coefficients Cnnav(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température aval X à celle à la température aval Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnav_{GUE}$(4, 9.5) = 0,90	$Cnnav_{Pabs}$(4, 9.5) = 0,95
$Cnnav_{GUE}$(15, 9.5) = 1,08	$Cnnav_{Pabs}$(15, 9.5) = 1,06
$Cnnav_{GUE}$(20.5, 15) =1,07	$Cnnav_{Pabs}$(20.5, 15) =1,05
$Cnnav_{GUE}$(26, 20.5) =1,06	$Cnnav_{Pabs}$(26, 20.5) =1,05
P_{aux}	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnav_{Paux}$(4, 9.5) = 1	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}$(4, 9.5) = 0,97
$Cnnav_{Paux}$(15, 9.5) = 1	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}$(15, 9.5) = 1,01
$Cnnav_{Paux}$(20.5, 15) =1	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}$(20.5, 15) =1,01
$Cnnav_{Paux}$(26, 20.5) =1	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}$(26, 20.5) =1,01

Tableau 239: Valeurs de Cnnav en refroidissement des PAC MG air/eau

Ensuite, on complète ligne par ligne les valeurs encore manquantes, à partir des valeurs de la colonne pivot et/ou des valeurs renseignées dans d'autres colonnes.

Les lignes sont complétées :

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUEfr(5,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(5,Ilign)} = {ValGUEfr(4,Ilign)} x $Cnnam_{GUEfr}$(45, 35)

si {ValGUEfr(3,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(3,Ilign)} = {ValGUEfr(4,Ilign)} x $Cnnam_{GUEfr}$(25, 35)

si {ValGUEfr(2,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(2,Ilign)} = {ValGUEfr(3,Ilign)} x $Cnnam_{GUEfr}$(15, 25)

si {ValGUEfr(1,Ilign)} = 0

{ValGUEfr(1,Ilign)} = {ValGUEfr(2,Ilign)} x $Cnnam_{GUEfr}$(5, 15)

Les valeurs renseignées sont bien sûr conservées. Les coefficients Cnnam(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température amont X à celle à la température amont Y sont les suivantes :

GUE	Pabs

$Cnnam\_{}_{GUE}(45, 35) = 0,71$ $Cnnam\_{}_{GUE}(25, 35) = 1,18$ $Cnnam\_{}_{GUE}(15, 25) = 0,82$ $Cnnam\_{}_{GUE}(5, 15) = 0,78$	$Cnnam\_{}_{Pabs}(45, 35) = 1,15$ $Cnnam\_{}_{Pabs}(25, 35) = 0,86$ $Cnnam\_{}_{Pabs}(15, 25)=0,88$ $Cnnam\_{}_{Pabs}(5, 15)= 0,9$
P_{aux}	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnam\_{}_{Paux}(45, 35)= 1$ $Cnnam\_{}_{Paux}(25, 35)= 0,92$ $Cnnam\_{}_{Paux}(15, 25) = 0,61$ $Cnnam\_{}_{Paux}(5, 15)= 1$	$Cnnam\_\eta_{th,ecs}(45, 35) = 1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(25, 35) = 1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(15, 25)=1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(5, 15)= 1$

Tableau 240: Valeurs de Cnnam en refroidissement des PAC MG air/eau

8.25.3.3.2 PAC MG air extérieur / air recyclé

Syst_Thermo_FR = 2

Val_util_max = 1.25

La matrice de performances des machines air extérieur / air recyclé est la suivante :

			Températures amont principales (°C) : *air extérieur*				
			5	**15**	**25**	**35**	**45**
		Priorité	4	3	2	1	5
Températures aval principales (°C) *Air intérieur*	**22**	2					
	27	1				Pivot	
	32	3					
	37	4					

Figure 172 : Matrice de performance des machines air extérieur/ air recyclé

La valeur 'pivot' est la valeur pour θ_{am} = 35 ; θ_{av} = 27.

Les autres valeurs sont calculées par défaut selon les modalités suivantes.

Les valeurs fournies doivent respecter l'ordre de priorité défini dans le tableau ci-dessus :

Températures aval
27°C 22°C, 27°C 22°C, 27°C, 32°C 22°C, 27°C, 32°C, 37°C

Températures amont
35 °C 25 °C, 35°C 15°C, 25°C, 35°C 5°C, 15°C, 25°C, 35°C 5°C, 15°C, 25°C, 35°C, 45°C

Tableau 241 : Températures aux sources

La construction des matrices à partir d'une ou plusieurs valeurs de GUE ou P_{abs} est réalisée de la manière décrite ci-dessous.

On commence par remplir intégralement la colonne pivot, c'est-à-dire celle contenant la valeur pivot.

La colonne contenant la valeur pivot est complétée en premier :

si {ValGUE(4,1)} = 0

{ValGUE (4,1)} = {ValGUE (4,2)} x $Cnnav_{\_GUE}(22, 27)$

si {ValGUE(4,3)} = 0

{ValGUE (4,3)} = {ValGUE (4,2)} x $Cnnav_{\_GUE}(32, 27)$

si {ValGUE(4,4)} = 0

{ValGUE (4,4)} = {ValGUE (4,2)} x $Cnnav_{\_GUE}(37,27)$

Les coefficients Cnnav(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température aval X à celle à la température aval Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnav_{\_EER}(22, 27) = 0,97$ $Cnnav_{\_EER}(32, 27) = 1,01$ $Cnnav_{\_EER}(37, 27) =1,01$	$Cnnav_{\_Pabs}(22, 27) = 0,90$ $Cnnav_{\_Pabs}(32, 27) = 1,04$ $Cnnav_{\_Pabs}(37, 27) = 1,05$
$P_{aux,uext}$	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnav_{\_Paux,uext}(22, 27) = 1$ $Cnnav_{\_Paux,uext}(32, 27) = 1$ $Cnnav_{\_Paux,uext}(37, 27) = 1$	$Cnnav\_\eta_{th,ecs}(22, 27) = 1$ $Cnnav\_\eta_{th,ecs}(32, 27) = 1$ $Cnnav\_\eta_{th,ecs}(37, 27) = 1$

Tableau 242: Valeurs de Cnnav en refroidissement

Ensuite, on complète ligne par ligne les valeurs encore manquantes, à partir des valeurs de la colonne pivot et/ou des valeurs renseignées dans d'autres colonnes.

Les lignes sont complétées :

Pour Ilign allant de 1 à $N_{\theta aval}$,

si {ValGUE(2,Ilign)} = 0

{ValGUE(2,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(15, 35)$

si {ValGUE(3,Ilign)} = 0

{ValGUE(3,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(25, 35)$

si {ValGUE(5,Ilign)} = 0

{ValGUE(5,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{\_GUE}(45, 35)$

si {ValGUE(1,Ilign)} = 0

{ValGUE(1,Ilign)} = {ValGUE(4,Ilign)} x $Cnnam_{_GUE}(5, 35)$Les valeurs renseignées sont bien sûr conservées. Les coefficients Cnnam(Y,X) utilisés pour passer de la valeur à la température amont X à celle à la température amont Y sont les suivantes :

GUE	Pabs
$Cnnam_{\_GUE}(5, 35) = 1,3$	$Cnnam_{\_Pabs}(5, 35) = 0,75$
$Cnnam_{\_GUE}(15, 35) = 1,2$	$Cnnam_{\_Pabs}(15, 35) = 0,85$
$Cnnam_{\_GUE}(25, 35)=1,1$	$Cnnam_{\_Pabs}(25, 35)=0,92$

$Cnnam_{\_GUE}(45, 35)= 0,7$	$Cnnam_{\_Pabs}(45, 35)= 1,2$
$P_{aux,uext}$	$\eta_{th,ecs}$
$Cnnam_{\_Paux,uext}(5, 35)= 1$ $Cnnam_{\_Paux,uext}(15, 35)= 1$ $Cnnam_{\_Paux,uext}(25, 35)1$ $Cnnam_{\_Paux,uext}(45, 35)= 1$	$Cnnam\_\eta_{th,ecs}(5, 35) = 1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(15, 35) = 1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(25, 35)=1$ $Cnnam\_\eta_{th,ecs}(45, 35)= 1$

Tableau 243: Valeurs de Cnnam en refroidissement

8.25.3.4 *Modélisation du Fonctionnement à charge partielle*

Les PAC MG air/air peuvent moduler la puissance soit par des cycles marche/arrêt répétés soit par adaptation linéaire de la vitesse de moteur (valable uniquement au-dessus d'un certain taux de charge). On rapproche ainsi dans le principe la description des performances à charge partielle de celle des algorithmes des PAC à compression électrique et à absorption gaz de la méthode Th-BCE.

La consommation à charge partielle résulte de 2 phénomènes :

1. la consommation de gaz du moteur lors de la phase de fonctionnement établi, Pcomp,
2. la consommation équivalente du moteur résultant des irréversibilités lors des phases d'arrêt - démarrage,

8.25.3.4.1 Performances effectives à pleine charge (pc) et à vitesse minimale (contmin)

Par la suite, l'algorithme est explicité pour le mode chauffage, mais l'approche est rigoureusement identique en refroidissement à ceci près que les efficacités sont notées EER.

Les performances à pleine charge pour des conditions de fonctionnement données sont déterminées par double-interpolation (une sur $\theta_{amont}(h)$ et une sur $\theta_{aval}(h)$) à l'intérieur des matrices précédemment détaillées. On note $GUE_{pc}(h)$, $P_{abs,pc}(h)$, $P_{aux,uext,pc}(h)$ et $\eta_{th,ecs}(h)$ les valeurs ainsi obtenues. La procédure utilisée est décrite dans la méthode Th-BCE, chapitre *8.23* C_GEN_THERMODYNAMIQUE_Elec.

A l'instar de la convention relative aux PAC à compression électrique, la consommation d'auxiliaires inclut celles de l'ensemble des unités intérieures connectées en plus de celle de l'unité extérieure. Ainsi, la puissance électrique absorbée à pleine charge totale est égale à la somme des puissances absorbées par les unités intérieures et l'unité extérieure :

$$P_{aux,pc}(h) = P_{aux,uext,pc}(h) + P_{aux,uint,pc} \quad (1425)$$

On caractérise tout d'abord les performances au taux de charge correspondant à la vitesse minimale de fonctionnement admise par le moteur, $LR_{contmin}$. Le GUE ou l'EER à ce taux de charge minimal est calculé à partir du coefficient de correction de la performance correspondant, $Ccp_{LRcontmin}$, pour l'ensemble moteur et auxiliaires.

$$GUE_{LRcontmin}(h) = Ccp_{LRcont,min}.GUE_{PC}(h) \quad (1426)$$

$$P_{fou,LRcontmin}(h) = LR_{cont,min}.P_{foupc}(h) \quad (1427)$$

$$P_{gaz,LRcontmin}(h) = \frac{P_{fou,LRcontmin}(h)}{GUE_{LRcontmin}(h)} \quad (1428)$$

8.25.3.4.2 Fonctionnement a vitesse de rotation variable du moteur

Soit $Q_{req,act}(h)$ le besoin en énergie ramené à une seule machine parmis les R_{dim} identiques :

$$Q_{req,act}(h) = \frac{Q_{Req(h)}}{R_{dim}} \quad (1429)$$

On rencontre ce type de fonctionnement pour les machines à régulation de puissance variable (*Fonct_moteur = 1 : fonctionnement à vitesse variable*), lorsque $P_{fou,LR}(h) \geq P_{fou,LRcontmin}(h)$.

Avec :

$$LR(h) = \frac{P_{fouLR}(h)}{P_{foupc(h)}} \quad (1430)$$

$$P_{fouLR}(h) = MIN\left(Q_{req,act}(h); P_{foupc}(h)\right) \quad (1431)$$

$$Q_{rest,act}(h) = Q_{req,act}(h) - P_{foupc}(h) \quad (1432)$$

Le GUE et le EER sont calculés sur la base de l'hypothèse que la consommation du moteur varie linéairement en fonction de la charge dans la plage de fonctionnement à vitesse variable.

Pour un taux de charge situé entre $LR_{contmin}$ et 1:

$$GUE_{LR}(h) = GUE_{pc}(h).\left(1 + \left[Ccp_{LRcont,min} - 1\right].\frac{1 - LR(h)}{1 - LR_{cont,min}}\right) \quad (1433)$$

$$P_{gaz,LR}(h) = \frac{P_{fou_{LR}}(h)}{GUE_{LR}(h)} \quad (1434)$$

La puissance absorbée liée aux cycles marche-arrêt est quant à elle nulle, d'où :

$$P_{gaz,MA,LR}(h) = 0 \text{ (W)} \quad (1435)$$

$$P_{abs,LR}(h) = P_{gaz,LR}(h) + P_{gaz\_MA,LR}(h) \quad (1436)$$

8.25.3.4.3 Fonctionnement en cycle marche arrêt du moteur

On rencontre ce type de fonctionnement :

- avec les machines à régulation de compresseur tout ou rien (*Fonct_moteur = 0 : fonctionnement tout ou rien*)
- avec les machines à régulation de puissance variable (*Fonct_moteur = 1 : fonctionnement à vitesse variable*), lorsque $P_{fou,LR} < P_{fou,pc} . LR_{contmin}$.

En valeur moyenne sur une heure le fonctionnement est le suivant :

1. la puissance consommée par le moteur, $P_{gaz,LR}$, varie linéairement entre 0 W pour LR = 0% et $P_{abs,LRcontmin}$ pour $LR = LR_{contmin}$,

$$P_{gaz,LR}(h) = P_{gaz,LRcontmin}(h).\left(1 - \frac{LR_{contmin} - LR(h)}{LR_{contmin}}\right) \quad (1437)$$

2. la puissance liée aux irréversibilités, $P_{gaz,MA,LR}$, est nulle aussi bien à charge nulle qu'au taux

de charge $LR_{contmin}$. A l'intérieur de cette plage, sa valeur est égale à :

$$P_{gaz\_MA,LR}(h) = P_{gaz,LRcontmin}(h) . \frac{D_{eq} . \left(LR_{cycl}(h)\right) . (1 - LR_{cycl}(h))}{D_{fou0}} \quad (1438)$$

Avec : $LR_{cycl}(h) = \frac{LR(h)}{LR_{contmin}}$ (1439)

D_{eq} est la durée équivalente liée aux irréversibilités, caractéristique de la machine, en minutes. Par convention, on pose D_{eq} = 0,5 min.

D_{fou0} est la durée de fonctionnement à charge tendant vers 0%, en minutes. Elle correspond au temps nécessaire pour remonter le circuit de distribution en température quand il n'y a pas émission et que le compresseur fonctionne. Par convention, on pose D_{fou0} = 2,0 min, ce qui correspond à la valeur adoptée dans Th-BCE pour les distributions à inertie très légère.

On peut donc calculer la puissance pour chaque taux de charge :

$$P_{abs,LR}(h) = P_{gaz,LR}(h) + P_{gaz\_MA,LR}(h) \quad (1440)$$

$$GUE_{LR}(h) = \frac{P_{fou,LR}(h)}{P_{abs,LR}(h)} \quad (1441)$$

8.25.3.4.4 Consommation des auxiliaires électriques

La puissance absorbée par les auxiliaires électriques de la machine est considérée proportionnelle au taux de charge :

$$P_{aux,LR}(h) = MIN\left(P_{aux,pc}(h) ; P_{aux,0} + \frac{LR(h)}{LR_{cont,min}}\left(P_{aux,pc}(h) - P_{aux,0}\right)\right) \quad (1442)$$

8.25.3.4.5 Production indirecte d'ECS

Lorsque une production indirecte d'ECS est présente (IS_{prod_ECS} = 1 : vrai), on calcule la puissance équivalente disponible pour la production ECS indirecte par récupération thermique sur le moteur:

$$P_{ECS,LR}(h) = P_{gaz,LR}(h).\eta_{th,ecs}(h).LIM_{ECS}(h) \quad (1443)$$

Où LIM_{ECS}(h) est le coefficient de limitation de la puissance de production indirecte d'ECS associé à la température limite de l'eau en sortie du moteur :

Si $\theta_{aval(ecs)}(h) > \theta_{ECS,max} - 5°C$, alors : $LIM_{ECS}(h) = 0{,}0$

Sinon, $LIM_{ECS}(h) = MIN\left(1{,}0 ; \frac{MAX\left(0{,}0 ; \theta_{ECS,max} - \theta_{aval(ecs)}(h)\right)}{\theta_{ECS,max} - \theta_{aval(ecs),nom}}\right)$ (1444)

Avec, par convention, $\theta_{ECS,max}$ = 75°C et $\theta_{aval(ecs),nom}$ = 55°C. Ainsi, au-delà de $\theta_{aval,ecs}$ (h) = $\theta_{ECS,max}$, la production indirecte d'ECS n'est plus possible.

La consommation électrique liée à la pompe de charge du circuit de production ECS n'est comptabilisée que lorsque cette fonction est activée :

Si $P_{ECS,LR}(h) > 0{,}0\ W$, alors : $W_{pompe,ECS}(h) = P_{pompe,ECS}\ (.1h)$

Sinon, $W_{pompe,ECS}(h) = 0{,}0$ (Wh) (1445)

8.25.3.4.6 Calcul des données de sortie

L'ensemble des sorties sont calculées comme suit à la fin de chaque appel de l'algorithme :

- Consommations d'énergie du générateur :

$Q_{cons}(h) = P_{gaz,LR}(h) . R_{dim}$ (1446)

$Q_{cef(id\_fonction;id\_engen)}(h) = P_{gaz,LR}(h) . R_{dim}$ (1447)

- Quantité d'énergie fournie par la machine pour le poste principal :

$Q_{fou}(h) = P_{fou\_LR}(h) . R_{dim}$ (1448)

- Quantité d'énergie restant à fournir par l'appoint ou au pas de temps suivant :

$Q_{rest}(h) = Q_{rest\_act}(h) . R_{dim}$ (1449)

- Taux de charge :

$\tau_{charge}(h) = LR(h)$ (1450)

- Consommation des auxiliaires :

$W_{aux,pro}(h) = [P_{aux,LR}(h) + W_{pompe,ECS}(h)]. R_{dim}$ (1451)

- Efficacité pour le poste principale :

$\eta_{eff}(h) = GUE_{LR}(h)$ *(*$EER_{LR}(h)$ *en refroidissement)* (1452)

- Quantité d'énergie rejetée à la source amont :

$$\Phi_{rejet}(h) = MIN\left(0 ; P_{gaz,LR}(h) - P_{fou,LR}(h)\right).R_{dim} \quad (1453)$$

$$\Phi_{rejet}(h) = \left(P_{gaz,LR}(h) + P_{fou,LR}(h)\right).R_{dim} \quad (1454)$$

- Quantité d'énergie disponible pour la production ECS :

$Q_{ecs}(h) = P_{ecs,LR}(h) . R_{dim}$ (1455)

Cette quantité d'énergie est considérée disponible pour réchauffer le ballon de stockage d'ECS au pas de temps h+1, dans la mesure où l'ordre séquentiel des calculs ne permet pas de disposer de la valeur avant d'avoir déterminée la puissance absorbée en chauffage ou refroidissement.

8.26 C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques

8.26.1 INTRODUCTION

Cette fiche décrit les auxiliaires amont des machines thermodynamiques :

- de type eau / eau et eau / air, que sont les tours de refroidissement, les boucles d'eau et les dispositifs de captage (essentiellement les pompes),
- et des machines de type air / eau et air / air, gainées ou non.

Les machines sur eau retenues sont de trois types, les machines avec une tour de refroidissement, les machines sur boucle d'eau et les machines sur sonde, mer, lacs, nappe phréatique. Dans ce dernier cas, les auxiliaires amont sont dits de 'captage'.

Les captages de type sonde comportent une pompe de réseau de captage, les captages de type eau de nappe également. Toutefois, ces derniers pouvant être équipés d'un échangeur de barrage, dans ce cas il y a une pompe supplémentaire entre la machine et l'échangeur. On distingue alors le circuit de captage proprement dit situé entre la nappe et l'échangeur et un circuit intermédiaire entre l'échangeur et la machine.

Les tours de refroidissement et les ventilateurs présents dans celles-ci sont régulés pour maintenir constante la température d'eau au départ du condenseur. De même, les pompes du circuit des tours de refroidissement fonctionnent lorsque la machine frigorifique fonctionne. Pour ces différents élément, on fait ici l'hypothèse que le taux de charge des tours, des ventilateurs et des pompes est le même que celui de la machine frigorifique à laquelle est reliée la tour.

Par ailleurs, dans ce module, la température de l'eau en sortie d'une tour de refroidissement humide est dépendante de la température humide de l'air extérieur.

Les pompes de captage peuvent être gérées de trois façons différentes : fonctionnement permanent ou marche en cas de demande ou marche proportionnellement à la demande, cela pendant la saison de chauffage et la saison de refroidissement.

Selon la nature des machines thermodynamiques, les normes de détermination des performances intègrent tout ou partie seulement des auxiliaires nécessaires au bon fonctionnement des machines, voire aucun pour les matériels gaz.

La puissance des systèmes de contrôle commande est prise en compte lors de la mesure des performances. Pour les pompes et les ventilateurs :

- Machines air / air

  comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,

  comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées.

- Machines air / eau

  comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,

  comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées.

  comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

- Machines sol / eau

  comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur, la pompe étant généralement

intégrée. Si ce n'est pas le cas, il convient d'en tenir compte dans les calculs.

- Machine sol / sol

  Pas d'auxiliaires pris en compte.

- Machines sol / air

  comprennent la puissance des ventilateurs, ces machines étant généralement non gainées. Si elles le sont, il convient d'en tenir compte dans les calculs.

- Machines eau / air

  comprennent la puissance des ventilateurs des machines non gainées,

  comprennent seulement la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des échangeurs des machines gainées,

  comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

  En cas de condenseur séparé, la puissance électrique afférente n'est pas comptée, il convient donc d'en tenir compte dans les calculs.

- Machines eau / eau

  comprennent seulement la part de la puissance des pompes pour vaincre les pertes de charge de l'échangeur que les pompes soient intégrées ou non à l'appareil.

  En cas de condenseur séparé, la puissance électrique afférente n'est pas comptée, il convient donc d'en tenir compte dans les calculs.

Remarque :

Coté utilisation, deux cas se présentent :

- la détermination des COP_{nom} et des EER_{nom} intègre la puissance des auxiliaires pour vaincre les pertes de charge des échangeurs. La puissance des auxiliaires du coté utilisation à prendre en compte dans le réseau de distribution aéraulique ou hydraulique est la part nécessaire à la circulation du fluide dans le réseau de distribution.

- la détermination des COP_{nom} et des EER_{nom} n'intègre pas la puissance des auxiliaires pour vaincre les pertes de charge des échangeurs. La puissance des auxiliaires coté utilisation à prendre en compte dans le réseau de distribution aéraulique ou hydraulique est la puissance totale nécessaire à la fois à la circulation du fluide dans le réseau de distribution et à vaincre les pertes de charge des échangeurs.

8.26.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 244 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur.	°C
	$\omega_{ext}(h)$	Humidité spécifique de l'air extérieur	Kg/kg as
	$id_{Mois}(j)$	Numéro du mois de l'année.	Entier
ET.	$\theta_{et}(h)$	Température de l'espace tampon associé à la source amont.	°C
Ventil.	$T_{air\_extrait}^{s}(h)$	Température de l'air repris après impact du ventilateur d'extraction du système de ventilation simple flux par extraction ou double flux.	°C
	$Qm_{air\_extrait}$	Débit d'air extrait irrigant la source amont des machines sur air extrait	kg/s
Générateurs	$T_{charge}^{gnr}(h)$	Taux de charge de la machine frigorifique au pas de temps *h*.	Réel
	$\Phi_{rejet}^{gnr}(h-1)$	Puissance rejetée au pas précédent pour les systèmes sur eau de captage : valeur positive en refroidissement et négative en chauffage	W
	$Pfou_{\_pc\_brut}(h)$	Puissance maximale, non compris les limites de fonctionnement, que peut fournir le générateur dans les conditions de températures amont et aval au pas de temps *h*.	W
	$Pabs_{\_pc}(h)$	Puissance absorbée à pleine charge aux conditions non nominales	réel

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Générateur associé	P_{ngen}^{gnr}	Puissance fournie en fonctionnement nominal (100% de charge) du générateur *gnr*	W	0	+∞	-
	id_{type}^{gnr}	Type du générateur associé à la source amont.	Ent	1	1000	-
	$id_{fluide-amont}$	Type de fluide amont du générateur : *1 : Eau* *2 : Air* *3 : Autre fluide.*	Ent	1	3	-
	$id_{amont-eau-type}$	Type de source amont eau du générateur : *1 : Captage,* *2 : Tour de refroidissement.* *3 : Boucle d'eau* *4 : Eau de nappe avec échangeur de*	Ent	1	2	-

		séparation *5 : Eau de nappe sans échangeur*				
Tour de refroidissement	id_{tour}	Type de tour de refroidissement : *1 : Tour humide,* *2 : Tour sèche.*	Ent	1	2	-
	$id_{amont\text{-}air\text{-}type}$	Type de source amont air du générateur : *1 : Air extérieur,* *2 : Air ambiant de volume non-chauffé,* *3 : Air extrait.*	Ent	1	3	-
	$\Delta\theta_{Cond\_FR}$	Ecart de température aux bornes du condenseur en mode refroidissement.	°C	-	-	-
	$\Delta\theta_{Evap\_CH}$	Ecart de température aux bornes de l'évaporateur en mode chauffage.	°C			
	P_{vent_gaine}	Machines sur air : partie de la puissance des ventilateurs correspondant aux pertes de charge des conduits dans le cas de machines sur air gainées, la partie due aux pertes de charge des échangeurs étant comprise dans la performance.	°C	0	+∞	-
	P_{pompes_tour}	Machines sur eau : partie de la puissance électrique des pompes du circuit de refroidissement correspondant aux pertes de charge des conduits.	W	0	+∞	-
	P_{vent_tour}	Puissance électrique des ventilateurs de la tour.	W	0	+∞	-
	$\Delta\theta_{tour}$	3) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour humide et la température humide de l'air extérieur. 4) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour sèche et la température de l'air extérieur.	°C	0	+∞	
	$\theta_{es\_tour\_consigne}$	Consigne de température d'eau en sortie de tour.	°C	-∞	+∞	-
Captage	$id_{gest\_captage}$	Gestion des auxiliaires de captage : *1 : Marche permanente au cours de la saison de fonctionnement.* *2 : Fonctionnement en cas de demande d'énergie*	Ent	1	3	-
	$id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var}$	1 : fonctionnement tout ou rien 2 : fonctionnement à vitesse variable	ent	1	2	-
	$P_{pompes\_captage}$	Machines sur eau : Puissance électrique des pompes de captage, nappe, boucle. Selon le type, on compte toute la puissance ou seulement la part correspondant aux pertes de charge des conduits.	W	0	+∞	-
	P_{pompes_inter}	Machines sur eau de nappe : Puissance électrique des pompes du circuit intermédiaire. Selon le type, on compte toute la puissance ou seulement la part correspondant aux pertes de charge des conduits.	W	0	+∞	-
	$id_{mois\ mini}$	N° du mois durant lequel la température d'eau de captage est la plus faible.	Entier	1	12	-
	θ_{min_source}	Température minimale annuelle de	°C	-∞	+∞	-

	l'interface avec le sol naturel ou de l'eau de nappe				
θ_{max_source}	Température maximale annuelle de l'interface avec le sol naturel ou de l'eau de nappe	°C	-∞	+∞	-
θ_{min_boucle}	Température minimale annuelle de l'eau dans la boucle.	°C	-∞	+∞	-
θ_{max_boucle}	Température maximale annuelle de l'eau dans la boucle.	°C	-∞	+∞	-
Rb	Résistance thermique équivalente entre le fluide et l'interface avec le sol naturel	(K.m)/W	0	+∞	-
L	Longueur du conduit de captage	m	0	+∞	-
$Qv_{\_nappe\_nom}$	débit nominal d'eau de nappe dans le circuit nappe	m^3/h	-	-	-
$Qv_{\_inter\_nom}$	débit total nominal de fluide (eau, eau glycolée) dans le circuit amont de la machine. Si plusieurs machines sont connectées au même échangeur, on compte le débit total.	m^3/h	-	-	-
ρ_{inter}	masse volumique du fluide dans le circuit amont de la machine	kg/m^3	-	-	-
UA	coefficient de l'échangeur	w/K	--	-	-
Cpe_{inter}	Chaleur spécifique du fluide dans le circuit amont de la machine	J/kg/K	-	-	-
type_echangeur	nature de l'échangeur de barrage : 1 : écoulements à contre courant 2 : écoulements à courants parallèles 3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés	-	-	-	-
T_{air_lim}	Machines sur air extrait : - Température maximale autorisée de l'air en sortie de source amont en mode froid - Température minimale autorisée de l'air en sortie de source amont en mode chaud	°C	-	-	-
Syst_Thermo_FR	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement refroidissement : 3 : refroidisseurs air extrait / air neuf	entier	1	-	-
Syst_Thermo_CH	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement chauffage : 3 : PAC air extrait / air neuf	entier	1	-	-
Syst_Thermo_ECS	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement ECS : 2 : PAC air extrait / eau	entier	1	-	-
Idfougen	Type de générateur : Chauffage = 1, froid = 2, ECS = 3				

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
R_{dim}	Nombre de machines identiques dans le même mode	entier	1	-	

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Tour de refroidissement	τ_{charge}	Taux de charge des machines frigorifiques	Réel
	$\Phi_{rejet}(h-1)$	Puissance rejetée totale par les générateurs connectés au pas précédent pour les systèmes sur eau de captage : valeur positive en refroidissement et négative en chauffage	W
	θ'_{as}	Température humide de l'air en sortie de tour	°C
	w_{sat}	Humidité spécifique à saturation	kg/kg as
	h_{sat}	Enthalpie de l'air à saturation	J/kg as
	h_{ext}	Enthalpie de l'air en entrée de la tour de refroidissement.	J/kg as
	$\theta_{es\_tour\_cont}$	Température d'eau en sortie de tour avant régulation	°C
	θ_{es_tour}	Température d'eau en sortie de tour	°C
	W_{pompes_tour}	Consommation électrique des pompes du circuit de refroidissement	Wh
	W_{vent_tour}	Consommation électrique des ventilateurs de la tour.	Wh
Captage	$\theta_b(j)$	Température de l'interface avec le sol naturel le jour j.	°C
	$\theta_{be}(j)$	Température de l'eau dans la boucle le jour j.	°C
	φ	Déphasage de la fonction de détermination de la température de captage.	rad
	$W_{pompes\_captage}$	Consommation des pompes de captage	Wh
	$\theta_f(h)$	Température moyenne du fluide en sortie des sondes au pas de temps actuel.	°C
	$\theta_{amont}(h)$	Température amont des générateurs	°C
	$W_{aux,am}$	Consommation électrique des auxiliaires amonts	Wh
Modèle du circuit d'eau	Rat_{Pngen}^{gnr}	Ratio des puissances nominales	-
	$Rat_{Phirejet}^{gnr}$	Ratio des puissances rejetées	-
	$Q_{m\_nappe\_reel}$	Débit réel d'eau de nappe dans le circuit nappe	kg/s
	$Q_{m\_inter\_reel}$	Débit réel de fluide (eau, eau glycolée) dans le circuit amont de la machine	kg/s
	T_{retour_amont}	Température de retour (eau, eau glycolée) de la source amont vers la machine.	°C
	NUT	Nombre d'unité de transfert de l'échangeur de barrage	-

ε	efficacité de l'échangeur de barrage	-
C_{nappe}	débit énergétique dans le circuit nappe	W/K
C_{inter}	débit énergétique dans le circuit intermédiaire	W/K
$Qm_{air\_extrait\_act}$	Débit d'air extrait irrigant la source amont d'une machine sur air extrait	kg/s
$Pech_{\_source\_amont\_maxi}$	Puissance maximale échangeable à la source amont des machines sur air extrait	W

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont du générateur *gnr*, dans le cas des générateurs thermodynamiques (sans objet sinon).	°C
$W_{aux,am}^{gnr}$	Consommation électrique des auxiliaires amont d'un générateur *gnr*.	Wh
T_{depart_amont}	Température du fluide (eau, eau glycolée) au départ de la machine vers la source amont	°C
$Pfou_{\_source\_amont\_maxi}$	Puissance maximale disponible par les machines sur air extrait	W

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_v	Chaleur massique de la vapeur d'eau	J/kgK	1830
C_{pe}	Chaleur massique de l'eau	J/kgK	4180
ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau	kg/m_3	1000
C_a	Chaleur massique de l'air	J/kgK	1006
H_{fg}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	J/kgK	$25*10^5$

Tableau 244 : Nomenclature du modèle

8.26.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.26.3.1 ***Calculs des ratios***

8.26.3.1.1 Calcul des ratios de puissance nominale (une fois par simulation)

En début de simulation, on calcule les ratios de puissances nominales :

$$\forall gnr Rat_{Pngen}^{gnr} = \frac{P_{ngen}^{gnr}}{\sum_{gnr} P_{ngen}^{gnr}} \text{ (Wh)} \quad (1456)$$

8.26.3.1.2 Calcul des ratios de puissance rejetée (à chaque pas de temps)

Si $\phi_{rejet}(h-1) \neq 0$,on calcule à chaque pas de temps les ratios suivants :

$$\forall gnr Rat_{Phirejet}^{gnr} = \frac{\phi_{rejet}^{gnr}(h-1)}{\phi_{rejet}(h-1)} \quad (1457)$$

8.26.3.2 ***Calcul de la puissance rejetée totale***

$$\phi_{rejet}(h-1) = \sum_{gnr} \phi_{rejet}^{gnr}(h-1) \quad (1458)$$

8.26.3.3 ***Calcul de la température amont***

La première étape de modélisation des sources amont des générateurs thermodynamiques est le calcul de la température amont de fonctionnement. Elle diffère selon le type de système et la source utilisée.

8.26.3.3.1 Générateurs sur fluide amont air ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=2)

8.26.3.3.1.1 Air extérieur ($id_{amont\text{-}air\text{-}type}^{gnr}$=1)

La température amont est celle de l'air extérieur :

$$\theta_{amont}(h) = \theta_{ext}(h) \text{ (°C)} \quad (1459)$$

8.26.3.3.1.2 Air ambiant d'un volume non-chauffé ($id_{amont\text{-}air\text{-}type}^{gnr}$=2)

La température amont est la température ambiante d'un espace tampon :

$$\theta_{amont}(h) = \theta_{et}(h) \text{ (°C)} \quad (1460)$$

8.26.3.3.1.3 Air extrait ($id_{amont\text{-}air\text{-}type}^{gnr}$=3)

La température amont est la température d'air extrait d'un ou plusieurs groupes du projet au travers d'un système de ventilation simple flux ou double flux.

$$\theta_{amont}(h) = T_{air\_extrait}^{s}(h) \text{ (°C)} \quad (1461)$$

8.26.3.3.2 Générateurs sur fluide amont eau ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=1)

8.26.3.3.2.1 Circuit d'échange avec la source extérieure ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=1, 4 ou 5)

Pour la prise en compte des captages de type sonde, la température de l'interface avec le sol est

calculée chaque mois et suit une évolution sinusoïdale au cours de l'année.

De même, la température de l'eau de nappe suit une évolution sinusoïdale au cours de l'année.

On dispose de la température maximale, de la température minimale de l'interface avec le sol ou de l'eau de nappe ainsi que du mois pendant lequel cette température est minimale.

Evolution mensuelle de la température de l'interface avec le sol ou de l'eau de nappe :

$$\theta_b(j) = A + B.sin(2.\pi.\frac{id_{mois}(j)}{12} + \varphi) \quad (1462)$$

Avec :

$$A = \frac{\theta_{min\_sol} + \theta_{max\_sol}}{2}$$
$$B = \frac{\theta_{max\_sol} - \theta_{min\_sol}}{2} \quad (1463)$$
$$\varphi = \pi.\left(\frac{3}{2} - \frac{id_{mois\_min\,i\_sol}}{6}\right)$$

φ permet de compenser le décalage entre le mois où la température de captage est la plus faible et le minimum de la courbe calculée sur une année.

Note : pour tout type de captage qui conduirait à une température constante, la modélisation peut être faite en précisant : $\theta_{min\_source} = \theta_{max\_source}$.

Captage de type sonde : ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=1)

La température du fluide en sortie des sondes est la suivante :

$$\theta_f(h) = \theta_b(j) + \phi_{rejet}(h-1) \times \frac{R_b}{L} \ (°C) \quad (1464)$$

Captage de type nappe avec échangeur : ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=4)

Les débits d'eau, qui dépendent du mode de gestion des pompes, sont les suivants :

- Si $id_{gest\_captage} = 1$: marche permanente pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

$$Q_{m\_nappe\_reel} = Q_{v\_nappe\_nom} \times \frac{\rho_{eau}}{3600} \text{ (kg/s)}$$
$$Q_{m\_inter\_reel} = Q_{v\_inter\_nom} \times \frac{\rho_{inter}}{3600} \text{ (kg/s)} \quad (1465)$$

- Si $id_{gest\_captage} = 2$, marche en cas de demande pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

$Si\ \tau_{charge} = 0,\ alors,$
$Q_{m\_nappe\_reel} = 0\ (kg/s)$
$Q_{m\_inter\_reel} = 0\ (kg/s)$
$sinon$

- $Si\ id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 1,\ fonctionnement\ tout\ ou\ rien$ *(1466)*

$$Q_{m\_nappe\_reel} = Q_{v\_nappe\_nom} \times \frac{\rho_{eau}}{3600}\ (kg/s)$$
$$Q_{m\_inter\_reel} = Q_{v\_inter\_nom} \times \frac{\rho_{inter}}{3600}\ (kg/s)$$

- Si $id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 2$, fonctionnement à vitesse variable

$$Q_{m\_nappe\_reel} = Q_{v\_nappe\_nom} \times \rho_{eau} \times \frac{MAX\ (0.3;\tau_{charge})}{3600} \text{ (kg/s)}$$
$$Q_{m\_inter\_reel} = Q_{v\_inter\_nom} \times \rho_{eau} \times \frac{MAX\ (0.3;\tau_{charge})}{3600} \text{ (kg/s)} \quad (1467)$$

Calcul de l'efficacité d'échange :

si Qm_inter_reel = 0 ou si Qm_nappe_reel = 0

$$Tdépart_{amont} = Tdépart_{amont,prev} \quad (1468)$$

sinon

$$C_{nappe} = Q_{m\_nappe\_reel} \times C_{pe}$$
$$C_{inter} = Q_{m\_inter\_reel} \times C_{pe\_inter} \quad (1469)$$

$$C = \frac{MIN\{C_{nappe}, C_{inter}\}}{MAX\{C_{nappe}, C_{inter}\}} \quad (1470)$$

$$NUT = \frac{UA}{MIN\{C_{nappe}, C_{inter}\}} \quad (1471)$$

Calcul de l'efficacité de l'échangeur

Si type_echangeur = 1 écoulements à contre courant

si C = 1

$$\varepsilon = \frac{NUT}{NUT + 1} \quad (1472)$$

sinon

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NUT(1-C)}}{1 - C * e^{-NUT(1-C)}} \quad (1473)$$

Si type_echangeur = 2 écoulements à courants parallèles

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NUT(1+C)}}{1 + C} \quad (1474)$$

Si type_echangeur = 3 écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NUT}} + \frac{C}{1 - e^{-NUT.C}} - \frac{1}{NUT}} \quad (1475)$$

Calcul de la température de retour amont :

$$Tretour_{amont} = Tdépart_{amont}(h-1) + \varepsilon.(\theta_b(j) - Tdépart_{amont}(h-1) \times \frac{MIN\{C_{nappe}, C_{inter}\}}{C_{inter}}) \quad (1476)$$

$$\theta_f(h) = Tretour_{amont} \quad (1477)$$

Calcul de la température de départ pour le pas suivant :

$$Tdépart_{amont} = Tretour_{amont} + \frac{\phi_{rejet}(h-1)}{Q_{m\_inter\_reel} \times C_{pe\_inter}} \quad (1478)$$

Note :

Au premier pas de temps d'une saison de chauffage ou de refroidissement, $Tdépart_{\_amont}$ est fixé à 12 °C et les rejets sont nuls.

Captage de type nappe sans échangeur : ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=5)

Calcul de la température de retour amont :

$$Tretour_{amont} = (\theta_b(j) \quad (1479)$$

$$\theta_f(h) = Tretour_{amont} \quad (1480)$$

Au final, la température amont du générateur est ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=1, 4 ou 5) **:**

$$\theta_{amont}(h) = \theta_f(h) + \frac{\Delta\theta_{cond}}{2} \quad (1481)$$

Avec

$$\Delta\theta Cond = -\Delta\theta Cond\_CH \quad si\ \phi_{rejet}(h-1) < 0$$
$$\Delta\theta Cond = \Delta\theta Cond\_FR \quad si\ \phi_{rejet}(h-1) > 0$$

$\Delta\theta_{Evap\_CH}$ et $\Delta\theta_{Cond\_FR}$ sont fixés par **défaut** à 5 K

8.26.3.3.2.2 Tours de refroidissement ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}=2$)

8.26.3.3.2.2.1 <u>Calcul de la température humide de l'air extérieur, Idtour = 1</u>

La température humide de l'air en sortie de la tour, θ'_{as}, est calculée à partir de la température sèche et de l'humidité spécifique de l'air extérieur.

Il n'y a pas de relation explicite pour déterminer la température humide. Elle est résolue par itération.

Soit une valeur de température humide de l'air, θ'_{as}. Les conditions à saturation sont obtenues par les relations suivantes :

$$\begin{cases} \omega_{sat} & = & 10^{-3} \times exp\left(18.8161 - \dfrac{4110.34}{\theta'_{as} + 235.00}\right) \\ h_{sat} & = & C_a \cdot \theta'_{as} + \omega_{sat} \cdot (H_{fg} + C_v \cdot \theta'_{as}) \\ C_e \cdot \theta'_{as} & = & \dfrac{h_{sat} - h_{ext}(h)}{\omega_{sat} - \omega_{ext}(h)} \end{cases} \quad (1482)$$

que l'on peut transformer en une relation implicite sur ω_{sat} ainsi :

$$\omega_{sat} - 10^{-3}\, exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\dfrac{h_{ext} - \omega_{sat} H_{fg}}{C_e(\omega_{ext} - \omega_{sat}) + C_v \omega_{sat} + C_a} + 235.00}\right) = 0 \quad (1483)$$

où l'enthalpie de l'air en entrée de la tour (air extérieur) est donnée par:

$$h_{ext}(h) = C_a \cdot \theta_{ext}(h) + w_{ext}(h) \cdot (H_{fg} + C_v \cdot \theta_{ext}(h)) \quad (1484)$$

Une fois l'humidité de saturation calculée, on calcule la température d'air humide en combinant les deux dernières équations du système (1482) :

$$\theta'_{as} = \frac{\omega_{sat} H_{fg} - h_{ext}(h)}{C_e(\omega_{sat} - \omega_{ext}) - C_a - C_v \omega_{sat}} \quad (1485)$$

8.26.3.3.2.2.2 <u>Calcul de la température d'eau en sortie d'une tour humide Id_{tour} = 1</u>

Lorsque la tour fonctionne la température de sortie d'eau est la suivante :

$$\theta_{es\_tour\_cont} = \theta'_{as} + \Delta\theta_{tour} \quad (1486)$$

Compte tenu de la régulation la température réelle de sortie est la suivante :

$$\theta_{es\_tour} = MAX(\theta_{es\_tour\_cont}; \theta_{es\_tour\_consigne}) \quad (1487)$$

8.26.3.3.2.2.3 <u>Calcul de la température d'eau en sortie d'une tour sèche, Id_{tour} = 2</u>

Lorsque la tour fonctionne la température de sortie d'eau est la suivante :

$$\theta_{es\_tour\_cont} = \theta_{ext} + \Delta\theta_{tour} \quad (1488)$$

Compte tenu de la régulation la température réelle de sortie est la suivante :

$$\theta_{es\_tour} = MAX(\theta_{es\_tour\_cont}; \theta_{es\_tour\_consigne}) \quad (1489)$$

8.26.3.3.2.2.4 Calcul de la température amont

Au final, la température amont du générateur est :

$$\theta_{amont}(h) = \theta_{es\_tour} + \frac{\Delta\theta_{cond\_FR}}{2} \quad (1490)$$

Avec :

$$\Delta\theta Cond = -\Delta\theta Evap\_CH \qquad si\ \phi_{rejet}(h-1) < 0$$

$$\Delta\theta Cond = \Delta\theta Cond\_FR \quad si\ \phi_{rejet}(h-1) > 0$$

$\Delta\theta_{Evap\_CH}$ et $\Delta\theta_{Cond\_FR}$ sont fixés par **défaut** à 5 K

8.26.3.3.2.3 Boucles d'eau ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=3)

La température de l'eau dans la boucle est calculée chaque mois et suit une évolution sinusoïdale au cours de l'année.

On dispose de la température maximale, de la température minimale de l'eau dans la boucle ainsi que du mois pendant lequel la température de l'eau dans la boucle est minimale.

Evolution mensuelle de la température de l'eau dans la boucle :

$$\theta_{be}(j) = A + B.sin(2.\pi.\frac{id_{mois}(j)}{12} + \varphi) \quad (1491)$$

Avec :

$$A = \frac{\theta_{min\_sol} + \theta_{max\_sol}}{2}$$

$$B = \frac{\theta_{max\_sol} - \theta_{min\_sol}}{2} \quad (1492)$$

$$\varphi = \pi.\left(\frac{3}{2} - \frac{id_{mois\_min\,i\_sol}}{6}\right)$$

φ permet de compenser le décalage entre le mois où la température de captage est la plus faible et le minimum de la courbe calculée sur une année.

Au final, la température amont du générateur est :

$$\theta_{amont}(h) = \theta_{be}(j) + \frac{\Delta\theta_{cond}}{2} \quad (1493)$$

Avec :

$\Delta\theta_{Cond} = -\Delta\theta_{Cond\_CH}$ $\quad si\ \phi_{rejet}(h-1) < 0$

$\Delta\theta_{Cond} = \Delta\theta_{Cond\_FR}$ $\quad si\ \phi_{rejet}(h-1) > 0$

8.26.3.3.3 Calcul de la température amont par générateur

Elle est la même pour tous les générateurs connectés :

$$\forall gnr, \theta_{amont}^{gnr}(h) = \theta_{amont}(h)\ (°C) \quad (1494)$$

8.26.3.4 *Calcul de la consommation d'auxiliaires amonts*

Le taux de charge est la moyenne pondérée des taux de charge des générateurs connectés :

$$\tau_{charge} = \sum_{gnr} \tau_{charge}^{gnr} \times Rat_{Pngen}^{gnr} \quad (1495)$$

8.26.3.4.1 Générateurs sur fluide amont air ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=2)

Les générateurs sur fluide amont air non gainés n'ont pas de consommations d'auxiliaires amont, celles-ci étant comprises dans la performance.

$$W_{aux,am} = 0\ (Wh) \quad (1496)$$

Les générateurs sur fluide amont air gainés ont des consommations d'auxiliaires amont correspondant à la part de la puissance des ventilateurs pour vaincre les pertes de charge des conduits, la partie due aux pertes de charge des échangeurs étant comprise dans la performance.

$$W_{aux,am} = P_{vent\_gainé} \times \tau_{charge}\ (Wh) \quad (1497)$$

8.26.3.4.2 Générateurs sur fluide amont eau ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=1)

8.26.3.4.2.1 Circuit de captage ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=1, 3, 4 ou 5)

Il convient de prendre en compte les consommations des pompes de circuit de captage, de circuit d'eau de nappe avec ou sans échangeur et de boucle d'eau des machines frigorifiques.

Ces pompes fonctionnent en tout ou rien ou proportionnellement à la charge au condenseur de la machine frigorifique.

Le circuit de captage des machines branchées sur eau de nappe via un échangeur de barrage comprend deux pompes, l'une pour le circuit de captage et l'autre pour le circuit intermédiaire. La pompe du circuit de captage est calculée ici, la pompe du circuit intermédiaire est calculée ci-après.

Leur consommation électrique est calculée de la façon suivante :

- Si $id_{gest\_captage} = 1$: marche permanente pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

$$W_{pompes\_captage} = P_{pompes\_captage}\ (Wh) \quad (1498)$$

- Si $id_{gest\_captage} = 2$, marche en cas de demande pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

Si $\tau_{charge} = 0$, alors,

$$W_{pompes\_captage} = 0\ (Wh) \quad (1499)$$

Sinon,

- Si $id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 1$, fonctionnement tout ou rien

$W_{pompes\_captage} = P_{pompes\_captage}$ (Wh)

- Si $id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 2$, fonctionnement à vitesse variable

$W_{pompes\_captage} = P_{pompes\_captage} \times max(\tau_{charge}; 0.3)$ (Wh)

8.26.3.4.2.2 Circuit intermédiaire de captage ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=4)

Pompe de circuit intermédiaire

- Si $id_{gest\_captage} = 1$: marche permanente pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

$$W_{pompes\_inter} = P_{pompes\_inter} \text{ (Wh)} \quad (1500)$$

- Si $id_{gest\_captage} = 2$, marche en cas de demande pendant la saison de chauffage ou de froid selon le mode.

Si $\tau_{charge} = 0$, alors,

$W_{pompes\_inter} = 0$ (Wh)

Sinon,

- Si $id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 1$, fonctionnement tout ou rien

$W_{pompes\_inter} = P_{pompes\_inter}$ (Wh) (1501)

- Si $id_{gest\_pompe\_captage\_cont\_var} = 2$, fonctionnement à vitesse variable

$W_{pompes\_captage} = P_{pompes\_captage} \times max(\tau_{charge}; 0.3)$ (Wh)

Au final ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=1, 3, 4 ou 5):

$$W_{aux,am} = W_{pompes\_captage} + W_{pompes\_inter} \text{ (Wh)} \quad (1502)$$

Note : il n'apparaît pas de test sur la saison car en dehors des saisons de chauffage ou de refroidissement ce composant n'est pas appelé.

8.26.3.4.3 Tours de refroidissement ($id_{amont\text{-}eau\text{-}type}^{gnr}$=2)

Les tours de refroidissement sont utilisées en production de froid seul.

Pompes du circuit tour de refroidissement des machines frigorifiques

Ces pompes fonctionnent selon la charge au condenseur de la machine frigorifique. Leur consommation électrique est calculée de la façon suivante :

$$W_{pompes\_tour} = P_{pompes\_tour} \times \tau_{charge} \text{ (Wh)} \quad (1503)$$

Ventilateurs de la tour de refroidissement

Ces ventilateurs fonctionnent selon la charge au condenseur de la machine frigorifique. Leur consommation électrique est calculée de la façon suivante :

$$W_{vent\_tour} = P_{vent\_tour} \times \tau_{charge} \text{ (Wh)} \quad (1504)$$

Au final :

$$W_{aux,am} = W_{pompes\_tour} + W_{vent\_tour} \text{ (Wh)} \quad (1505)$$

8.26.3.4.4 Calcul de la consommation des auxiliaires amont par générateur

$$\begin{aligned} \varphi\phi_{rejet}(h-1) \neq 0 \quad &\Rightarrow \quad \forall gnr W_{aux,am}^{gnr} = W_{aux,am} \times Rat_{Phirejet}^{gnr} \\ \phi_{rejet}(h-1) = 0 \quad &\Rightarrow \quad \forall gnr W_{aux,am}^{gnr} = W_{aux,am} \times Rat_{Pngen}^{gnr} \end{aligned} \quad (1506)$$

8.26.3.5 *Puissance maximale des machines sur air extrait :* $id_{fluide-amont}^{gnr}=2$ *et* $id_{amont-air-type}^{gnr}=3$

$$Qm_{air\_extrait\_act} = \frac{Qm_{air\_extrait(h)}}{Rdim} \quad (1507)$$

Dans le cas des machines sur air extrait la puissance que peut fournir la machine est limitée par la capacité d'échange de chaleur de la source amont.

si Syst_Thermo_CH = 3 et si Idfougen = 1

La quantité d'énergie maximale qui peut être échangée à la source amont est donnée par :

$$Pech\_{source\_amont\_maxi} = Qm_{air\_extrait\_act} * C_{pa} * \max\{0 ; (\theta_{amont(h)} - T_{air\_lim})\} \quad (1508)$$

Cela conduit à définir la puissance maximale que peut fournir la machine compte tenu de la source amont :

$$Pfou\_{source\_amont\_maxi} = Pech\_{source\_amont\_maxi} * Pfou_{\_pc\_brut} / (Pfou_{\_pc\_brut} - Pabs_{\_pc}) \quad (1509)$$

si Syst_Thermo_ECS = 2 et si Idfougen = 3

Voir Syst_Thermo_CH = 3 et si Idfougen = 1.

si Syst_Thermo_FR = 3 et si Idfougen = 2

La quantité d'énergie maximale qui peut être échangée à la source amont est donnée par :

$$Pech\_{source\_amont\_maxi} = Qm_{air\_extrait\_act} * C_{pa} * \max\{0 ; (T_{air\_lim} - \theta_{amont(h)})\} \quad (1510)$$

Cela conduit à définir la puissance maximale que peut fournir la machine compte tenu de la source amont :

$$Pfou\_{source\_amont\_maxi} = Pech\_{source\_amont\_maxi} * Pfou_{\_pc\_brut} / (Pfou_{\_pc\_brut} + Pabs_{\_pc}) \quad (1511)$$

8.27 C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques de type sol

8.27.1 INTRODUCTION

La présente fiche vise à compléter les possibilités de description des sources amont avec le type sol (pour les générateurs de types sol/eau et sol/sol)

La description ne s'adresse qu'aux générateurs thermodynamiques de chauffage ou de production d'ECS.

Selon les normes de caractérisation actuelles, les générateurs sur source sol sont testés en immergeant les couronnes de captage dans un bain d'eau glycolée à température maintenue constante. Les coefficients de performance obtenus sont exprimés dans ces conditions d'essai. Une conversion entre la température de sol au voisinages des sondes et la température de bain d'eau glycolée équivalente est donc à introduire.

Cette conversion est obtenue à partir de plusieurs points de correspondance obtenus de manière empirique.

A noter que les sources amont de type sol n'incluent pas par nature de consommation d'auxiliaires, l'ensemble des puissances nécessaires au déplacement du fluide calorifique étant intégrées aux consommations du générateur thermodynamique.

8.27.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 245 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Générateurs	$id_{Mois}(j)$	Numéro du mois de l'année.	Entier
	$\tau_{charge}^{gnr}(h)$	Taux de charge de la machine frigorifique au pas de temps *h*.	Réel
	$\Phi_{rejet}^{gnr}(h-1)$	Puissance rejetée au pas précédent pour les systèmes sur eau de captage : valeur positive en refroidissement et négative en chauffage	W

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Générateur thermodynamique	id_{fougen}	Type de générateur : Chauffage = 1, froid = 2, ECS = 3				
	id_{type}^{gnr}	Type du générateur associé à la source amont.	Ent	1	1000	-
	P_{ngen}^{gnr}	Puissance fournie en fonctionnement nominal (100% de charge) du générateur *gnr*	W	0	+∞	-
Type de sources amont						
	$id_{fluide\text{-}amont}$	Type de fluide amont du générateur : *1 : Eau* *2 : Air* 3 : Sol	Ent	1	3	-
Source amont de type sol						
	$id_{mois\ mini\_sol}$	N° du mois durant lequel la température d'interface entre le sol et les tubes de fluide frigorigène est la plus faible.	Entier	1	12	-
	θ_{min_sol}	Température minimale annuelle de l'interface entre le sol et les tubes de fluide frigorigène.	°C	-∞	+∞	-
	θ_{max_sol}	Température maximale annuelle de l'interface entre le sol et les tubes de fluide frigorigène.	°C	-∞	+∞	-
	Rb	Résistance thermique équivalente entre le fluide amont et l'évaporateur/le condenseur.	K.m/W	0	+∞	-

L	Longueur du conduit de captage	m	0	+∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\Phi_{rejet}(h-1)$	Puissance rejetée totale par les générateurs connectés au pas précédent pour les systèmes sur eau de captage : valeur positive en refroidissement et négative en chauffage	W
$\theta_b(j)$	Température de l'interface avec le sol naturel le jour j.	°C
φ	Déphasage de la fonction de détermination de la température de captage.	rad
$\theta_f(h)$	Température moyenne du fluide en sortie des sondes au pas de temps actuel.	°C
$\theta_{amont}(h)$	Température amont des générateurs	°C
$W_{aux,am}$	Consommation électrique des auxiliaires amont	Wh

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont du générateur *gnr*, dans le cas des générateurs thermodynamiques (sans objet sinon).	°C
$W_{aux,am}^{gnr}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires amont d'un générateur *gnr*.	Wh

Tableau 245 : Nomenclature du modèle

8.27.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.27.3.1 ***Calculs des ratios***

8.27.3.1.1 Calcul des ratios de puissance nominale (une fois par simulation)

En début de simulation, on calcule les ratios de puissances nominales :

$$\forall gnrRat_{Pngen}^{gnr} = \frac{P_{ngen}^{gnr}}{\sum_{gnr} P_{ngen}^{gnr}} \ (Wh) \qquad (1512)$$

8.27.3.1.2 Calcul des ratios de puissance rejetée (à chaque pas de temps)

Si $\phi_{rejet}(h-1) \neq 0$, on calcule à chaque pas de temps les ratios suivants :

$$\forall gnrRat_{Phirejet}^{gnr} = \frac{\phi_{rejet}^{gnr}(h-1)}{\phi_{rejet}(h-1)} \qquad (1513)$$

8.27.3.1.3 Calcul de la puissance rejetée totale

$$\phi_{rejet}(h-1) = \sum_{gnr} \phi_{rejet}^{gnr}(h-1) \qquad (1514)$$

8.27.3.2 ***Calcul de la température amont dans le cas d'une source sol***

La première étape de modélisation des sources amont des générateurs thermodynamiques est le calcul de la température amont de fonctionnement. Elle diffère selon le type de système et la source utilisée.

Les performances des générateurs thermodynamiques sur source sol sont déterminées par des essais où les sondes sont immergées dans un bain d'eau glycolée (à température fixée selon les conditions d'essai prévues dans le chapitre associé).

En termes de description de la source amont, l'approche consiste donc à faire le lien entre la température de sol au voisinage des sondes (qui relève du processus de dimensionnement) et la température de bain d'essai qui donnerait des performances équivalentes.

On définit $\theta_b(j)$ température de sol au voisinage des sondes. $\theta_b(j)$ est calculée mois par mois sur la base de l'hypothèse d'une variation sinusoïdale au cours de l'année :

$$\theta_b(j) = A + B.sin(2.\pi.\frac{id_{mois}(j)}{12} + \varphi) \qquad (1515)$$

Avec :

$$A = \frac{\theta_{min\_sol} + \theta_{max\_sol}}{2}$$
$$B = \frac{\theta_{max\_sol} - \theta_{min\_sol}}{2} \qquad (1516)$$
$$\varphi = \pi.\left(\frac{3}{2} - \frac{id_{mois\_min\_sol}}{6}\right)$$

La température de sol en intégrant une réduction associée aux rejets de la machine (connue uniquement au pas de temps précédent) est la suivante :

$$\theta_f(h) = \theta_b(j) + \phi_{rejet}(h-1) \times \frac{R_b}{L} \ (°C) \qquad (1517)$$

A partir de cette température de sol corrigée, la correspondance avec la température de bain d'essai donnant des performances équivalentes est établie par interpolation linéaire à partir des valeurs du tableau ci-dessous :

	Températures amont principales (°C)			
Température de sol θ_f(h) (°C)	**-5**	**0**	**5**	**10**
Température de bain d'essai correspondante θ_{amont}(h) (°C)	**-4**	**1.5**	**4**	**6.5**

Tableau 246: correspondance entre la température de sol et la température d'essai de la machine sur source sol

8.27.3.2.1 Calcul de la température amont par générateur

Elle est la même pour tous les générateurs connectés :

$$\forall gnr, \theta_{amont}^{gnr}(h) = \theta_{amont}(h) \ (°C) \qquad (1518)$$

8.27.3.2.2 Générateurs sur fluide amont sol ($id_{fluide\text{-}amont}^{gnr}$=3)

Ce type de générateurs n'a pas de consommations d'auxiliaires de source amont.

$$W_{aux,am} = 0 \ (Wh) \qquad (1519)$$

8.27.3.2.3 Calcul de la consommation des auxiliaires amont par générateur

$$\begin{aligned} \phi_{rejet}(h-1) \neq 0 \quad &\Rightarrow \quad \forall gnr W_{aux,am}^{gnr} = W_{aux,am} \times Rat_{Phirejet}^{gnr} \\ \phi_{rejet}(h-1) = 0 \quad &\Rightarrow \quad \forall gnr W_{aux,am}^{gnr} = W_{aux,am} \times Rat_{Pngen}^{gnr} \end{aligned} \qquad (1520)$$

8.28 C_gen_Réseau de chaleur et de froid

8.28.1 INTRODUCTION

La présente fiche décrit la modélisation horaire des sous-stations de réseaux de chaleur et de refroidissement, à partir de la description qui en faite dans la norme NF EN 15316.

8.28.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 247 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
θ_{aval}	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération.	°C
Q_{req}	Demande en énergie transmise au générateur via la gestion/régulation de la génération.	Wh
R_{puis_dispo}	Temps de fonctionnement à charge maximale potentiellement disponible pour le chauffage.	Réel
$id_{fonction}$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le Q_{req} (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multi-fonctions.	Ent
θ_{amb}	Température d'ambiance du lieu où se trouve le générateur.	°C

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_{pos}	Position du générateur : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.*	Ent	0	1	
R_{dim}	Ratio de dimensionnement du générateur.	Ent	1	+∞	

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_{type}	Type du générateur. *600 : réseau de chaleur,* *601 : réseau de froid.*	Ent	600	699	-
B_{ss}	Coefficient dépendant du type de réseau et de l'isolation des composants,		0	+∞	
D_{ss}	Coefficient caractérisant le réseau		0	+∞	

θ_{prs}	Température primaire de l'échangeur	°C	0	$+\infty$
P_{Ess}	Puissance d'échange de la chaufferie dans les conditions nominales	kW	0	$+\infty$

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef(po;en)}\}$	Consommation en énergie finale du générateur sous forme de matrice.	Wh
Q_{cons}	Consommation horaire du générateur en énergie finale.	Wh
Q_{fou}	Energie fournie par le générateur.	Wh
τ_{charge}	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel
Φ_{vc}	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises vers l'ambiance chauffée.	Wh
$W_{aux,pro}$	Consommations d'auxiliaire propre au générateur.	Wh
Q_{rest}	Puissance restant à fournir reportée à l'heure suivante	Wh
η_{eff}	Efficacité ou rendement du générateur.	Réel
$R_{fonctecs}$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS à charge maximale.	Réel

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{wh,ss}$	Température de l'eau dans la partie secondaire de l'échangeur.	°C
Q_{reqact}	Puissance requise au niveau du générateur, en tenant compte de R_{dim}.	Wh
Q_{fouact}	Energie totale fournie par le générateur.	Wh
Q_{ssact}	Pertes horaires d'une sous-station	Wh
Q_{ss}	Pertes horaires de l'ensemble de sous-stations identiques.	Wh
H_{ss}	Coefficient d'échange d'une sous-station.	W/°C
θ_{ss}	Température moyenne de l'échangeur	°C

Tableau 247 : Nomenclature du modèle

8.28.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Dans le cas d'un bâtiment relié à un réseau de chaleur ou à un réseau de froid, seules les pertes de la sous-station sont prises en compte.

La présente fiche décrit les modélisations des réseaux de chaleur (type *600*) et des réseaux de froid (type *601*) qui sont deux types de générateur différents.

Les valeurs de id_{fougen} autorisées pour un réseau de chaleur sont :

- *1 : Chauffage*
- *3 : ECS*
- *4 : Chauffage et ECS*

Les valeurs de id_{fougen} autorisées pour un réseau de froid sont :

- *2 : Refroidissement*

8.28.3.1 ***Réseau de chaleur (type 600)***

8.28.3.1.1 Fonctionnement en chauffage

Le modèle utilisé est celui de la norme EN 15316 partie 5-4.

On caractérise les sous-stations d'échange en fonction du niveau d'isolation de leurs composants. Ce niveau est décrit selon la norme *EN ISO 12241* qui définit des classes d'isolation. On considère dans tous les cas que le réseau primaire est isolé avec une isolation supérieure d'une classe à celle du réseau secondaire.

On considère que tous les composants de la sous-station sont isolés à l'exception des organes de régulation.

8.28.3.1.1.1 Energie fournie par le générateur

L'énergie requise sur une sous-station est calculée via le nombre de sous-stations identique R_{dim} :

$$Q_{reqact} = \frac{Q_{req}}{R_{\dim}} \text{ (Wh)} \quad (1521)$$

L'énergie que peut fournir l'ensemble des sous-stations est limitée par la durée de fonctionnement à pleine encore disponible après production d'ECS.

$$Q_{fouact} = MIN(Q_{reqact}; 1000.R_{puisdispo}.P_{Ess}) \text{ (Wh)} \quad (1522)$$

L'énergie fournie par l'ensemble des stations identiques est la suivante :

$$Q_{fou} = R_{\dim}.Q_{fouact} \text{ (Wh)} \quad (1523)$$

8.28.3.1.2 Taux de charge de la sous-station

$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fouact}}{1000.R_{puis\_dispo}.P_{Ess}} \quad (1524)$$

8.28.3.1.2.1 Calcul des pertes de la sous-station

Les pertes liées à l'ensemble des sous-stations sont calculées suivant la formule :

$$Q_{ss\_act} = R_{puisdispo}.H_{ss}.(\theta_{ss} - \theta_{amb}) \quad \text{(Wh)} \tag{1525}$$

$$Q_{ss} = R_{\dim}.Q_{ss\_act} \quad \text{(Wh)} \tag{1526}$$

Avec :

H_{ss} : Coefficient d'échange d'une sous station,

θ_{ss} : Température moyenne de l'échangeur,

θ_{amb} : Température du local de l'échangeur,

$$H_{ss} = B_{ss}.(\frac{P_{Ess}}{1000})^{(1/3)} \quad \text{(W/K)} \tag{1527}$$

P_{Ess} : Puissance d'échange d'une sous-station dans les conditions nominales,

B_{ss} : Coefficient dépendant du type de réseau et de l'isolation des composants.

Les valeurs du coefficient B_{ss} dépendent des classes d'isolation des réseaux secondaires (réseaux du bâtiment) et primaire, ainsi que du type de réseau.

		Classes d'isolation des composants de la sous-station			
	Isolation réseau secondaire	4	3	2	1
	Isolation réseau primaire	5	4	3	2
Type de réseau	Eau chaude basse température	3,5	4	4,4	4,9
	Eau chaude haute température	3,1	3,5	3 ,9	4,3
	Vapeur basse pression	2,8	3,2	3,5	3,9
	Vapeur haute pression	2,6	3	3,3	3,7

Tableau 248: Coefficient B_{ss} en fonction du type d'isolation, de la catégorie d'isolation et du type de réseau

$$\theta_{wh,ss} = \theta_{aval} \quad (°C) \tag{1528}$$

$$\theta_{ss} = D_{ss}.\theta_{prs} + (1 - D_{ss}).\theta_{wh,ss} \quad (°C) \tag{1529}$$

D_{ss} : Coefficient caractérisant le réseau,

θ_{prs} : Température primaire de l'échangeur,

$\theta_{wh,ss}$: Température de l'eau dans la partie secondaire de l'échangeur.

Type de réseau	Température primaire θ_{prs} (°C)	D_{ss}
Eau chaude basse température	105	0,6
Eau chaude haute température	150	0,4
Vapeur basse pression	110	0,5
Vapeur haute pression	180	0,4

Tableau 249 : Température primaire et coefficient Dss en fonction du type de réseau

8.28.3.1.3 Calcul de la consommation et de l'énergie reportée

La consommation des auxiliaires et les pertes thermiques vers l'ambiance sont prises conventionnellement nulles.

$$Q_{cons} = Q_{fou} + Q_{ss} \quad \text{(Wh)} \qquad (1530)$$

$$\eta_{eff} = \frac{Q_{fou}}{Q_{cons}} \quad \text{(-)} \qquad (1531)$$

$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{fou} \quad \text{(Wh)} \qquad (1532)$$

8.28.3.1.4 Calcul des consommations d'auxiliaires et flux thermique vers l'ambiance

La consommation d'auxiliaire de la sous-station est considérée nulle :

$$W_{aux,pro} = 0 \quad \text{(Wh)} \qquad (1533)$$

De même on considère que l'ensemble des pertes thermiques des sous-stations se font hors volume chauffé :

$$\phi_{vc} = 0 \quad \text{(Wh)} \qquad (1534)$$

8.28.3.1.5 Fonctionnement en ECS

La modélisation du fonctionnement du générateur en ECS est identique à celle en chauffage, excepté pour le calcul des pertes Q_{ssact} d'une sous-station.

On définit R_{fonct_ecs} , temps de fonctionnement du réseau de chaleur pour la production d'ECS.

$$R_{fonct\_ecs} = \tau_{charge} \qquad (1535)$$

Si le réseau de chaleur n'est utilisé que pour l'ECS (ou hors saison de chauffe), les pertes sont comptabilisées uniquement en ECS. Dans le cas contraire, elles ne sont comptabilisées pour l'ECS que sur le temps de fonctionnement équivalent R_{fonct_ecs} .

Si $id_{ECS\_seule} = 1$, alors,

$$Q_{ssact} = H_{ss}.(\theta_{ss} - \theta_{amb}) \quad \text{(Wh)} \qquad (1536)$$

Sinon,

$$Q_{ssact} = R_{fonct\_ecs}..H_{ss}.(\theta_{ss} - \theta_{amb}) \quad \text{(Wh)}$$

Où H_{ss} et θ_{ss} sont calculés comme en fonctionnement en chauffage (voir 8.28.3.1.2).

8.28.3.1.6 Réseau de froid (type 601)

Le calcul pour les réseaux de froid est identique à celui en chauffage, aux pertes de sous-station près.

Conventionnellement, on les considère nulles :

$$Q_{ssact} = 0 \quad \text{(Wh)} \qquad (1537)$$

8.28.3.2 *Matrice des consommations du générateur*

La consommation en énergie finale du générateur est insérée dans la case correspondant à l'usage (chauffage, refroidissement ou ECS) et au type d'énergie *« 60 : Réseau de fourniture d'énergie»*.

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 250: Matrice des consommations en énergies finales {$Q_{cef\ (poste;énergie)}$ }

8.29 C_GEN_Calculs génération

8.29.1 INTRODUCTION

La fiche calculs génération assume les rôles suivants :

- Construction de la matrice horaire des consommations en énergie finale de la génération à partir des matrices horaires de consommations des générateurs,

- Prise en compte des consommations d'auxiliaires amont des générateurs thermodynamiques (tour de refroidissement, pompes de captage…),

- Pertes totales vers l'ambiance de l'ensemble des générateurs.

- Calcul des indicateurs de performance de la génération et des générateurs (nombre d'heure aux différents taux de charge).

8.29.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 251 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation. Les paramètres ne dépendant ni de h ni de j sont statiques au cours de la simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Générateurs (dont générateurs sur boucle d'eau)	$\{Q_{cef(poste\ ;énergie)}^{g\ gnr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie.	Wh
	$W_{aux}^{gnr}(h)$	Consommation électrique globale des auxiliaires du générateur *gnr*.	Wh
	$Q_{fou\_ch}^{gnr}(h)$, $Q_{fou\_fr}^{gnr}(h)$, $Q_{fou\_ecs}^{gnr}(h)$	Energie fournie par le générateur *gnr* par poste au pas de temps h.	Wh
	$Q_{prelec}^{gnr}(h)$	Energie électrique produite pas le générateur *gnr* au pas de temps h.	Wh
Boucles sol.	$Q_{sol}^{BS}(h)$	Energie transmise à l'échangeur de la boucle solaire au pas de temps h.	Wh
	$P_p^{BS}(h)$	Energie consommée par la pompe de la boucle solaire au pas de temps h.	Wh
Gestion/régulation de la génération	$\{Q_{cef(poste\ ;énergie)}^{g\ en}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie.	Wh
	$\tau_{charge}^{gnr}(h)$	Taux de charge du générateur *gnr*.	Réel
	$Q_{prelec\_tot}(h)$	Total des productions électriques de l'ensemble des générateurs de la génération.	Wh
	$Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage du groupe *gr* sur l'ensemble des besoins de chauffage transmis à la génération.	-
	$Rat_{bes\_fr}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins de refroidissement du groupe *gr* sur l'ensemble des besoins de refroidissement transmis à la génération.	-
	$Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS du groupe *gr* sur l'ensemble des besoins d'ECS transmis à la génération.	-
	$Rat_{bes\_ch+ecs}^{gen,gr}(h)$	Ratio de répartition des besoins cumulés en chauffage et ECS du groupe *gr* sur l'ensemble des besoins transmis à la génération.	-

Paramètre d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$id_{fou\_sto}^{BS}$	Indicateur de fonction de la boucle solaire (par extension, de l'ensemble de stockage associé) 1 : chauffage, 3 : ECS, 4 : chauffage et ECS.	-	1	4	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
Sorties par générateur	$C_{ef\_ch\_m}^{gnr}$, $C_{ef\_fr\_m}^{gnr}$ $C_{ef\_ecs\_m}^{gnr}$	Consommation mensuelle en énergie finale par poste et par générateur	Wh
	$C_{ep\_ch\_m}^{gnr}$, $C_{ep\_fr\_m}^{gnr}$ $C_{ep\_ecs\_m}^{gnr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire par poste et par générateur	Wh
	$C_{ef\_ch}^{gnr}$, $C_{ef\_fr}^{gnr}$ $C_{ef\_ecs}^{gnr}$	Consommation annuelle en énergie finale par poste et par générateur	Wh
	$C_{ep\_ch}^{gnr}$, $C_{ep\_fr}^{gnr}$ $C_{ep\_ecs}^{gnr}$	Consommation annuelle en énergie primaire par poste et par générateur	Wh
	$C_{ef\_aux\_m}^{gnr}$	Consommations mensuelles en énergie finale des auxiliaires (y compris sources amonts) par générateur	Wh
	$C_{ep\_aux\_m}^{gnr}$	Consommations mensuelles en énergie primaire des auxiliaires (y compris sources amonts) par générateur	Wh
	$C_{ef\_aux}^{gnr}$	Consommations mensuelles en énergie finale des auxiliaires (y compris sources amonts) par générateur	Wh
	$C_{ep\_aux}^{gnr}$	Consommations mensuelles en énergie primaire des auxiliaires (y compris sources amonts) par générateur	Wh
	$\{C_{ef\_gaz}^{gnr}$, $C_{ef\_fod}^{gnr}$, $C_{ef\_cha}^{gnr}$, $C_{ef\_boi}^{gnr}$, $C_{ef\_ele}^{gnr}$, $C_{ef\_rdc}^{gnr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par générateur.	Wh
	$\{C_{ep\_gaz}^{gnr}$, $C_{ep\_fod}^{gnr}$, $C_{ep\_cha}^{gnr}$, $C_{ep\_boi}^{gnr}$, $C_{ep\_ele}^{gnr}$, $C_{ep\_rdc}^{gnr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire (de chaud, de froid et d'ECS) par générateur.	Wh
	$E_{ef\_fou\_ch}^{gnr}$, $E_{ef\_fou\_fr}^{gnr}$, $E_{ef\_fou\_ecs}^{gnr}$	Energie finale totale fournie par le générateur par poste.	Wh
	$E_{ef\_prelec\_m}^{gnr}$	Energie électrique finale mensuelle produite par le générateur (cogénération).	Wh

	$E_{ef\_prelec}^{gnr}$	Energie électrique finale annuelle totale produite par le générateur (cogénération).	Wh
	$E_{ep\_prelec\_m}^{gnr}$	Energie électrique primaire mensuelle produite par le générateur (cogénération).	Whep
	$E_{ep\_prelec}^{gnr}$	Energie électrique primaire annuelle totale produite par le générateur (cogénération).	Wh
	$\eta_{eff\_ch\_an}^{gnr}$	COP, EER ou rendement annuels du générateur en chauffage.	Réel
	$\eta_{eff\_ecs\_an}^{gnr}$	COP, EER ou rendement annuels du générateur en ECS.	Réel
	$\eta_{eff\_fr\_an}^{gnr}$	COP, EER ou rendement annuels du générateur en refroidissement.	Réel
Sorties pédagogiques des générateurs de chauffage	$Nbh_{charge\_HF\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage hors plage de fonctionnement	Entier
	$Nbh_{charge\_0\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge nul	Entier
	$Nbh_{charge\_0\_10\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 0 et10%	Entier
	$Nbh_{charge\_10\_20\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 10 et 20%	Entier
	$Nbh_{charge\_20\_30\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 20 et 30%	Entier
	$Nbh_{charge\_30\_40\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 30 et 40%	Entier
	$Nbh_{charge\_40\_50\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 40 et 50%	Entier
	$Nbh_{charge\_50\_60\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 50 et 60%	Entier
	$Nbh_{charge\_60\_70\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 60 et 70%	Entier
	$Nbh_{charge\_70\_80\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 70 et 80%	Entier
	$Nbh_{charge\_80\_90\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 80 et 90%	Entier
	$Nbh_{charge\_90\_100\_ch}$	Nombre d'heures d'un générateur de chauffage à un taux de charge entre 90 et 100%	Entier
Sorties pédagogiques des générateurs de refroidissement	$Nbh_{charge\_HF\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement hors plage de fonctionnement	Entier
	$Nbh_{charge\_0\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge nul	Entier
	$Nbh_{charge\_0\_10\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 0 et10%	Entier
	$Nbh_{charge\_10\_20\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 10 et 20%	Entier

	$Nbh_{charge\_20\_30\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 20 et 30%	Entier
	$Nbh_{charge\_30\_40\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 30 et 40%	Entier
	$Nbh_{charge\_40\_50\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 40 et 50%	Entier
	$Nbh_{charge\_50\_60\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 50 et 60%	Entier
	$Nbh_{charge\_60\_70\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 60 et 70%	Entier
	$Nbh_{charge\_70\_80\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 70 et 80%	Entier
	$Nbh_{charge\_80\_90\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 80 et 90%	Entier
	$Nbh_{charge\_90\_100\_fr}$	Nombre d'heures d'un générateur de refroidissement à un taux de charge entre 90 et 100%	Entier
	$Nbh_{charge\_HF\_ecs}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS hors plage de fonctionnement	Entier
	$Nbh_{charge\_0\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge nul	Entier
Sorties pédagogiques des générateurs d'ECS	$Nbh_{charge\_0\_10\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 0 et10%	Entier
	$Nbh_{charge\_10\_20\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 10 et 20%	Entier
	$Nbh_{charge\_20\_30\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 20 et 30%	Entier
	$Nbh_{charge\_30\_40\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 30 et 40%	Entier
	$Nbh_{charge\_40\_50\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 40 et 50%	Entier
	$Nbh_{charge\_50\_60\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 50 et 60%	Entier
	$Nbh_{charge\_60\_70\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 60 et 70%	Entier
	$Nbh_{charge\_70\_80\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 70 et 80%	Entier
	$Nbh_{charge\_80\_90\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 80 et 90%	Entier
	$Nbh_{charge\_90\_100\_ECS}$	Nombre d'heures d'un générateur d'ECS à un taux de charge entre 90 et 100%	Entier
Sorties par génération	$C_{ef\_ch\_m}^{gen}$, $C_{ef\_fr\_m}^{gen}$ $C_{ef\_ecs\_m}^{gen}$	Consommation mensuelle en énergie finale par poste et par génération	Wh
	$C_{ep\_ch\_m}^{gen}$, $C_{ep\_fr\_m}^{gen}$ $C_{ep\_ecs\_m}^{gen}$	Consommation mensuelle en énergie primaire par poste et par génération	Wh

	$C_{ef\_ch}^{gen}$, $C_{ef\_fr}^{gen}$ $C_{ef\_ecs}^{gen}$	Consommation annuelle en énergie finale par poste et par génération	Wh
	$C_{ep\_ch}^{gen}$, $C_{ep\_fr}^{gen}$ $C_{ep\_ecs}^{gen}$	Consommation annuelle en énergie primaire par poste et par génération	Wh
	$\{C_{ef\_gaz}^{gen}$, $C_{ef\_fod}^{gen}$, $C_{ef\_cha}^{gen}$, $C_{ef\_boi}^{gen}$, $C_{ef\_ele}^{gen}$, $C_{ef\_rdc}^{gen}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par génération	Wh
	$\{C_{ep\_gaz}^{gen}$, $C_{ep\_fod}^{gen}$, $C_{ep\_cha}^{gen}$, $C_{ep\_boi}^{gen}$, $C_{ep\_ele}^{gen}$, $C_{ep\_rdc}^{gen}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire (de chaud, de froid et d'ECS) par génération	Wh
	$E_{ef\_prelec\_m}^{gen}$	Energie électrique finale mensuelle produite par la génération (cogénération).	Wh
	$E_{ef\_prelec}^{gen}$	Energie électrique finale annuelle totale produite par la génération (cogénération).	Wh
	$E_{ep\_prelec\_m}^{gen}$	Energie électrique primaire mensuelle produite par la génération (cogénération).	Wh
	$E_{ep\_prelec}^{gen}$	Energie électrique primaire annuelle totale produite par la génération (cogénération).	Wh
Calculs groupe	$C_{ef\_ch\_m}^{gen,gr}$, $C_{ef\_fr\_m}^{gen,gr}$, $C_{ef\_ecs\_m}^{gen,gr}$	Consommation mensuelle en énergie finale par poste, par génération et par groupe	Wh
	$C_{ep\_ch\_m}^{gen,gr}$ $C_{ep\_fr\_m}^{gen,gr}$ $C_{ep\_ecs\_m}^{gen,gr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire par poste, par génération et par groupe	Wh
	$C_{ef\_ch}^{gen,gr}$, $C_{ef\_fr}^{gen,gr}$ $C_{ef\_ecs}^{gen,gr}$	Consommation annuelle en énergie finale par poste, par génération et par groupe	Wh
	$C_{ep\_ch}^{gen,gr}$, $C_{ep\_fr}^{gen,gr}$ $C_{ep\_ecs}^{gen,gr}$	Consommation annuelle en énergie primaire par poste, par génération et par groupe	Wh
	$\{C_{ef\_gaz}^{gen,gr}$, $C_{ef\_fod}^{gen,gr}$, $C_{ef\_cha}^{gen,gr}$, $C_{ef\_boi}^{gen,gr}$, $C_{ef\_ele}^{gen,gr}$, $C_{ef\_rdc}^{gen,gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par génération et par groupe	Wh
	$\{C_{ep\_gaz}^{gen,gr}$, $C_{ep\_fod}^{gen,gr}$, $C_{ep\_cha}^{gen,gr}$, $C_{ep\_boi}^{gen,gr}$, $C_{ep\_ele}^{gen,gr}$, $C_{ep\_rdc}^{gen,gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire (de chaud, de froid et d'ECS) par génération et par groupe	Wh
Calc. Bât.	$C_{ep\_rdch}^{gen,gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation des réseaux de chaleur pour la zone sur l'année entière.	Whep
	$C_{ep\_rdfr}^{gen,gr}$	Energie primaire totale fournie par utilisation des réseaux de froid pour la zone sur l'année entière.	Whep

Fiche XML	$E_{ep\_sol\_tot}^{gen,gr}$	Energie solaire thermique annuelle cumulée pour la génération *gen*, répartie par groupe.	Whep
	$E_{ep\_aux\_tot}^{gen,gr}$	Energie électrique primaire consommée par les auxiliaires de boucles solaires pour la génération *gen*, répartie par groupe.	Whep
	$E_{ef\_prelec}^{gen,gr}$	Energie électrique finale annuelle totale produite par la génération attribuée au groupe gr.	Wh
	$E_{ep\_prelec}^{gen,gr}$	Energie électrique primaire annuelle totale produite par la génération attribuée au groupe gr.	Whep
	$C_{ep\_ch}^{gnr,gr}$, $C_{ep\_fr}^{gnr,gr}$, $C_{ep\_ecs}^{gnr,gr}$	Consommations annuelles en énergie primaire par générateur thermodynamique et par groupe.	Whep
	$Q_{fou\_3postes}^{gnr}$	Energie totale fournie par chaque générateur en chauffage, refroidissement et/ou ECS sur l'année.	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef(poste\ ;énergie)}^{gen,gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie, répartie au niveau du groupe	Wh
$\{Q_{cef(poste\ ;énergie)}^{gnr,gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie du générateur gnr, répartie au niveau du groupe.	Wh
$Rat_{pelec}^{gen,gr}(h)$	Ratio de répartition de la production d'électricité de la génération par groupe.	-
$Q_{ef\_prelec}^{gen,gr}(h)$	Energie électrique finale produite par la génération attribuée au groupe gr pour le pas de temps h.	Wh
$C_{ef\_rdch}^{gen,gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation des réseaux de chaleur pour la zone sur l'année entière.	Wh
$C_{ef\_rdfr}^{gen,gr}$	Energie finale totale fournie par utilisation des réseaux de froid pour la zone sur l'année entière.	Wh
$\tau_{charge\_ch}^{gnr}$	Taux de charge d'un générateur appartenant à la collection des générateurs de chauffage	-
$\tau_{charge\_fr}^{gnr}$	Taux de charge d'un générateur appartenant à la collection des générateurs de refroidissement	-
$\tau_{charge\_ecx}^{gnr}$	Taux de charge d'un générateur appartenant à la collection des générateurs d'ECS	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$\{Coef_{ep(énergie\ )}\}$	Vecteur des coefficients d'énergie primaire associés aux différents types d'énergie.	Réel	-

Tableau 251 : Nomenclature du modèle

8.29.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.29.3.1 ***Matrice des consommations horaires de la génération***

8.29.3.1.1 Vecteur des coefficients d'énergie primaire

Il s'agit de la liste des coefficients permettant la transition des valeurs de consommations en énergie finale aux valeurs de consommations en énergie primaire.

	$Coef_{ep(énergie\ ;1)}$	$Coef_{ep(énergie\ ;1)}$
10 : Gaz	**1**	**1**
20 : Fioul	**1**	**1**
40 : Bois	**1**	**1**
50 :Electricité	**2.3**	**2.3**
60 : Réseau de chaleur	**1**	**1-RatENR_rdch pour les réseaux de chaleur 1 pour les réseaux de froid**

Tableau 252 : Vecteur des coefficients d'énergie primaire $\{Coef_{ep(énergie)}\}$

8.29.3.1.2 Matrice des consommations des générateurs et de la génération

Les consommations de chaque générateur (ou ballon de stockage) et génération se présentent sous la forme de la matrice du tableau ci-dessous. Les lignes représentent les différentes postes de consommations. Les colonnes correspondent aux différents types d'énergie rencontrés.

En Wh	*10 : Gaz*	*20 : Fioul*	*30 :Charbon*	*40 : Bois*	*50 :Electricité*	*60 : Réseau de chaleur*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1\ ;10)}$	$Q_{cef(1\ ;20)}$	…			
2 : Refroidiss.	$Q_{cef(2\ ;10)}$	…				…
3 : ECS	…				…	$Q_{cef(3\ ;60)}$

Tableau 253 : Matrice des consommations en énergies finales $\{Q_{cef\ (poste\ ;énergie)}(h)\}$

8.29.3.1.3 Matrice des consommations en énergie finale par génération et par groupe

Les matrices de consommation de la génération sont ensuite réparties au niveau du groupe, au prorata des demandes en énergie en entrée de la génération. A cela s'ajoute les éventuelles consommations supplémentaires des générateurs thermodynamiques sur boucle d'eau, dont on connait précisément le groupe de rattachement.

De ce fait, la consommation des générateurs sur boucle d'eau (ensemble $\mathbf{G_{BE}}$) est au préalable déduite de la consommation du reste de la génération.

$$Q^{gen,gr}_{cef\ (1;energie)}(h) = (Q^{gen}_{cef\ (1;energie)}(h) - \sum_{gnr \in G_{BE}} Q^{gnr}_{cef\ (1;energie)}(h)) \times Rat^{gen,gr}_{bes\_ch}(h) + \sum_{gnr \in G^{gr}_{BE}} Q^{gnr}_{cef\ (1;energie)}(h) \quad (1538)$$

$$Q^{gen,gr}_{cef\ (2;energie)}(h) = (Q^{gen}_{cef\ (2;energie)}(h) - \sum_{gnr \in G_{BE}} Q^{gnr}_{cef\ (2;energie)}(h)) \times Rat^{gen,gr}_{bes\_fr}(h) + \sum_{gnr \in G^{gr}_{BE}} Q^{gnr}_{cef\ (2;energie)}(h) \quad (1539)$$

$$Q^{gen,gr}_{cef\,(3;energie)}(h) = Q^{gen}_{cef\,(3;energie)}(h) \times Rat^{gen,gr}_{bes\_ecs}(h) \qquad (1540)$$

8.29.3.1.4 Matrice des consommations en énergie finale par générateur thermodynamique et par groupe

Ce calcul ne concerne que les générateurs thermodynamiques (id_{type}^{gnr}=*503 à 509*). Il y a deux cas de figure :

- le générateur thermodynamique n'est pas un générateur de boucle d'eau *gnr* (id_{type}^{gnr} ≠nr é appartient à la génération *gen* qui dessert le groupe *gr* :

$$Q_{cef\,(1;energie)}^{gnr,gr}(h) = Q_{cef\,(1;energie)}^{gnr}(h).Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h) \quad (1541)$$

$$Q_{cef\,(2;energie)}^{gnr,gr}(h) = Q_{cef\,(2;energie)}^{gnr}(h).Rat_{bes\_fr}^{gen,gr}(h) \quad (1542)$$

$$Q_{cef\,(3;energie)}^{gnr,gr}(h) = Q_{cef\,(3;energie)}^{gnr}(h).Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h) \quad (1543)$$

- le générateur thermodynamique de boucle d'eau *gnr* (id_{type}^{gnr} =*507,* appartenant à l'ensemble $\mathbf{G_{BE}}$) est lié directement au groupe *gr* :

$$Q_{cef\,(1;energie)}^{gnr,gr}(h) = Q_{cef\,(1;energie)}^{gnr}(h) \quad (1544)$$

$$Q_{cef\,(2;energie)}^{gnr,gr}(h) = Q_{cef\,(2;energie)}^{gnr}(h) \quad (1545)$$

8.29.3.2 *Prise en compte de la production d'électricité des générateurs*

La production d'électricité des générateurs tels que les systèmes de cogénération est attribuée à chaque groupe au prorata des besoins cumulés de chauffage et d'ECS du groupe par rapport à ceux de la génération.

Si $Q_{ch\_req\_sr\_tot}(h) + Q_{ecs\_req\_sr\_tot}(h) > 0$, alors,

$$Rat_{pelec}^{gen,gr}(h) = \frac{Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) + Q_{req,ecs}^{gen,gr}(h)}{Q_{req\_tot\_sr\_ch}^{gen}(h) + Q_{req\_tot\_sr\_ecs}^{gen}(h)}$$

Sinon, (1546)

$$Rat_{pelec}^{gen,gr}(h) = \frac{\sum_{dp\rightarrow gr}\left(A_{dess\_ch}^{dp} \times Rat_{bes\_ch}^{dp,gr}(h)\right) + \sum_{dp-e\rightarrow gr}\left(A_{dess\_ecs}^{dp-e} \times Rat_{bes\_ecs}^{dp,gr}(h)\right)}{\sum_{dp\leftarrow gen} A_{dess\_ch}^{dp} + \sum_{dp-e\leftarrow gen} A_{dess\_ecs}^{dp-e}}$$

$$Q_{ef\_prelec}^{gen,gr}(h) = Q_{prelec\_tot}^{gen}(h).Rat_{bes\_ch+ecs}^{gen,gr}(h) \quad (1547)$$

8.29.3.3 *Consommations en énergies finale et primaire de chauffage*

8.29.3.3.1 Par générateur

Les consommations totales par poste s'obtiennent par sommation des termes de chaque ligne de la matrice des consommations.

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ch\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(1;en)}^{gnr}(h)$$
$$C_{ep\_ch\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(1;en)}^{gnr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1548)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ch}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ch\_m}^{gnr}$$
$$C_{ep\_ch}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ch\_m}^{gnr} \quad (1549)$$

8.29.3.3.2 Par générateur et par groupe

Ce résultat ne concerne que les générateurs thermodynamiques (id_{type}^{gnr}=*503 à 509*) et n'est exprimé que sous forme annuelle en énergie primaire :

$$C_{ep\_ch}^{gnr,gr} = \sum_{h=1}^{8760} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(1;en)}^{gnr,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1550)$$

8.29.3.3.3 Par génération

Les consommations totales par poste s'obtiennent par sommation des termes de chaque ligne de la matrice des consommations.

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ch\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(1;en)}^{gen}(h)$$
$$C_{ep\_ch\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(1;en)}^{gen}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1551)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ch}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ch\_m}^{gen}$$
$$C_{ep\_ch}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ch\_m}^{gen} \quad (1552)$$

8.29.3.3.4 Par génération et par groupe

Les consommations totales par poste s'obtiennent par sommation des termes de chaque ligne de la matrice des consommations.

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ch\_m}^{gen,gr} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(1;en)}^{gen,gr}(h)$$

$$C_{ep\_ch\_m}^{gen,gr} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(1;en)}^{gen,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1553)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ch}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ch\_m}^{gen,gr}$$

$$C_{ep\_ch}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ch\_m}^{gen,gr} \quad (1554)$$

8.29.3.4 *Consommations en énergies finale et primaire de refroidissement*

8.29.3.4.1 Par générateur

Les consommations totales par poste s'obtiennent par sommation des termes de chaque ligne de la matrice des consommations.

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_fr\_m}^{gnr} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(2;en)}^{gnr}(h)$$

$$C_{ep\_fr\_m}^{gnr} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(2;en)}^{gnr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1555)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_fr}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_fr\_m}^{gnr}$$

$$C_{ep\_fr}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_fr\_m}^{gnr} \quad (1556)$$

8.29.3.4.2 Par générateur et par groupe

Ce résultat ne concerne que les générateurs thermodynamiques (id_{type}^{gnr}=*503 à 509*) et n'est exprimé que sous forme annuelle en énergie primaire :

$$C_{ep\_fr}^{gnr,gr} = \sum_{h=1}^{8760} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(2;en)}^{gnr,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1557)$$

8.29.3.4.3 Par génération

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_fr\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(2;en)}^{gen}(h)$$
$$C_{ep\_fr\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(2;en)}^{gen}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1558)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_fr}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_fr\_m}^{gen}$$
$$C_{ep\_fr}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_fr\_m}^{gen} \quad (1559)$$

8.29.3.4.4 Par génération et par groupe

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_fr\_m}^{gen,gr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(2;en)}^{gen,gr}(h)$$
$$C_{ep\_fr\_m}^{gen,gr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(2;en)}^{gen,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1560)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_fr}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_fr\_m}^{gen,gr}$$
$$C_{ep\_fr}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_fr\_m}^{gen,gr} \quad (1561)$$

8.29.3.5 *Consommations en énergies finale et primaire de production d'ECS*

8.29.3.5.1 Par générateur

Les consommations totales par poste s'obtiennent par sommation des termes de chaque ligne de la matrice des consommations.

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ecs\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(3;en)}^{gnr}(h)$$
$$C_{ep\_ecs\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(3;en)}^{gnr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1562)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ecs}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ecs\_m}^{gnr}$$
$$C_{ep\_ecs}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ecs\_m}^{gnr} \quad (1563)$$

8.29.3.5.2 Par générateur et par groupe

Ce résultat ne concerne que les générateurs thermodynamiques (id_{type}^{gnr}=*503 à 509*) et n'est exprimé que sous forme annuelle en énergie primaire :

$$C_{ep\_ecs}^{gnr,gr} = \sum_{h=1}^{8760} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(3;en)}^{gnr,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1564)$$

8.29.3.5.3 Par génération

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ecs\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(3;en)}^{gen}(h)$$

$$C_{ep\_ecs\_m}^{gen} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef\_ch(3;en)}^{gen}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1565)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ecs}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ecs\_m}^{gen}$$

$$C_{ep\_ecs}^{gen} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ecs\_m}^{gen} \quad (1566)$$

8.29.3.5.4 Par génération et par groupe

- Sous forme de résultats mensuels :

$$C_{ef\_ecs\_m}^{gen,gr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} Q_{cef(3;en)}^{gen,gr}(h)$$

$$C_{ep\_ecs\_m}^{gen,gr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef\_ch(3;en)}^{gen,gr}(h).Coef_{ep(en)}) \quad (1567)$$

- Sous forme d'un résultat annuel total :

$$C_{ef\_ecs}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ecs\_m}^{gen,gr}$$

$$C_{ep\_ecs}^{gen,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ecs\_m}^{gen,gr} \quad (1568)$$

8.29.3.6 ***Production d'électricité (cogénération)***

8.29.3.6.1 Par générateur

- Sous forme de résultats mensuels :

$$E_{ef\_prelec\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} Q_{prelec}^{gnr}(h)$$

$$E_{ep\_prelec\_m}^{gnr} = E_{ef\_prelec}^{gnr}.Coef_{ep(50)} \quad (1569)$$

- Sous forme de résultats annuels :

$$\begin{cases} E_{ef\_prelec}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} E_{ef\_prelec\_m}^{gnr} \\ E_{ep\_prelec}^{gnr} = E_{ef\_prelec}^{gnr}.Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1570)$$

8.29.3.6.2 Par génération

- Sous forme de résultats mensuels :

$$\begin{cases} E_{ef\_prelec\_m}^{gen} = \sum_{gnr \in gen} E_{ef\_prelec\_m}^{gnr} \\ E_{ep\_prelec\_m}^{gen} = E_{ef\_prelec\_m}^{gen}.Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1571)$$

- Sous forme de résultats annuels :

$$\begin{cases} E_{ef\_prelec}^{gen} = \sum_{gnr \in gen} E_{ef\_prelec\_m}^{gnr} \\ E_{ep\_prelec}^{gen} = E_{ef\_prelec}^{gen}.Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1572)$$

8.29.3.6.3 Par génération et par groupe

$$\begin{cases} E_{ef\_prelec}^{gen,gr} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{ef\_prelec}^{gen,gr}(h) \\ E_{ep\_prelec}^{gen,gr} = E_{ef\_prelec}^{gen,gr}.Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1573)$$

8.29.3.7 *Bilan de l'énergie solaire et électrique des boucles solaires par génération et par groupe*

Afin de déterminer la part d'énergie renouvelable de chaque bâtiment, on calcule pour chaque génération les énergies solaires et électriques des boucles solaires. On les répartie ensuite au prorata des besoins des différents groupes desservis. Les ratios utilisés (chauffage, ECS ou chauffage et ECS) sont fonction du id_{fousto} du système de stockage comprenant la boucle solaire :

$$E_{ep\_sol\_tot}^{gen,gr} = \sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=1}} Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h).Q_{sol}^{BS}(h) + \sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=3}} Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h).Q_{sol}^{BS}(h)$$

$$+ \sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=4}} Rat_{bes\_ch+ecs}^{gen,gr}(h).Q_{sol}^{BS}(h)$$

$$E_{ep\_aux\_tot}^{gen,gr} = Coef_{ep(50)}.\left(\sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=1}} Rat_{bes\_ch}^{gen,gr}(h).P_p^{BS}(h) + \sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=3}} Rat_{bes\_ecs}^{gen,gr}(h).P_p^{BS}(h) \right. \quad (1574)$$

$$\left. + \sum_{\substack{BS \in gen \\ id\_fou\_sto=4}} Rat_{bes\_ch+ecs}^{gen,gr}(h).P_p^{BS}(h) \right)$$

8.29.3.8 *Sorties complémentaires par générateur*

8.29.3.8.1 Energie totale fournie par générateur sur l'année

Pour chaque générateur, $Q_{fou\_3postes}^{gnr}$ représente l'énergie totale fournie en chauffage, refroidissement et/ou ECS sur l'année.

$$Q_{fou\_3postes}^{gnr} = \sum_{h=1}^{8760} \left(Q_{fou\_ch}^{gnr}(h) + Q_{fou\_fr}^{gnr}(h) + Q_{fou\_ecs}^{gnr}(h) \right) \quad (1575)$$

8.29.3.8.2 Nombre d'heures des générateurs à chaque taux de charge

8.29.3.8.2.1 Pour les générateurs de chauffage

Pour tous les générateurs appartenant à la collection des générateurs de chaud ($Id_{fonction}$ =1), le nombre d'heure du générateur à chaque taux de charge, calculé à chaque pas de temps, s'exprime alors de la manière suivante.

Au premier pas de temps, toutes les variables ci-dessous sont initialement nulles.

Si $Aut_{ch}(j) \neq 1$, $nbh_{ch\,\arg e\_HF\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_HF\_ch}^{gnr} + 1$

Sinon

Si $0\% = \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h)$, $nbh_{ch\,\arg e\_0\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_0\_ch}^{gnr} + 1$

Si $0\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 10\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_0\_10\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_0\_10\_ch}^{gnr} + 1$

Si $10\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 20\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_10\_20\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_10\_20\_ch}^{gnr} + 1$

Si $20\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 30\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_20\_30\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_20\_30\_ch}^{gnr} + 1$

Si $30\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 40\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_30\_40\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_30\_40\_ch}^{gnr} + 1$ (1576)

Si $40\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 50\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_40\_50\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_40\_50\_ch}^{gnr} + 1$

Si $50\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 60\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_50\_60\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_50\_60\_ch}^{gnr} + 1$

Si $60\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 70\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_60\_70\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_60\_70\_ch}^{gnr} + 1$

Si $70\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 80\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_70\_80\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_70\_80\_ch}^{gnr} + 1$

Si $80\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h) < 90\%$, $nbh_{ch\,\arg e\_80\_90\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_80\_90\_ch}^{gnr} + 1$

Si $90\% \leq \tau_{ch\,\arg e\_ch}^{gnr}(h)$, $nbh_{ch\,\arg e\_90\_100\_ch}^{gnr} \leftarrow nbh_{ch\,\arg e\_90\_100\_ch}^{gnr} + 1$

$$\text{Avec } \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ch}(h) = \begin{cases} \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) & \text{si } id_{fougen} = 1 \\ \dfrac{\tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) - R^{gnr}_{fonc\_ECS} * 100\%}{1 - R^{gnr}_{fonc\_ECS}} & \text{si } id_{fougen} = 4 \\ \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) & \text{si } id_{fougen} = 5 \text{ et } i_{a\_refoidi} = 0 \\ 0 & \text{si } id_{fougen} = 5 \text{ et } i_{a\_refoidi} = 1 \end{cases}$$

8.29.3.8.2.2 Pour les générateurs de refroidissement

Pour tous les générateurs appartenant à la collection des générateurs de refroidissement (lorsque $Id_{fonction}$ =2), le nombre d'heure du générateur à chaque taux de charge, calculé à chaque pas de temps, s'exprime alors de la manière suivante.

Au début du premier pas de temps, toutes les variables ci-dessous sont initialement nulles.

Si $Aut_{fr}(j) \neq 1$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_HF\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_HF\_fr} + 1$

Sinon

Si $0\% = \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h)$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_fr} + 1$

Si $0\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 10\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_10\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_10\_fr} + 1$

Si $10\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 20\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_10\_20\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_10\_20\_fr} + 1$

Si $20\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 30\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_20\_30\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_20\_30\_fr} + 1$

Si $30\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 40\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_30\_40\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_30\_40\_fr} + 1$ (1577)

Si $40\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 50\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_40\_50\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_40\_50\_fr} + 1$

Si $50\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 60\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_50\_60\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_50\_60\_fr} + 1$

Si $60\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 70\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_60\_70\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_60\_70\_fr} + 1$

Si $70\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 80\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_70\_80\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_70\_80\_fr} + 1$

Si $80\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) < 90\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_80\_90\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_80\_90\_fr} + 1$

Si $90\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h)$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_90\_100\_fr} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_90\_100\_fr} + 1$

$$\text{Avec } \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_fr}(h) = \begin{cases} \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) & \text{si } id_{fougen} = 2 \\ 0 & \text{si } id_{fougen} = 5 \text{ et } i_{a\_refoidi} = 0 \\ \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) & \text{si } id_{fougen} = 5 \text{ et } i_{a\_refoidi} = 1 \end{cases}$$

8.29.3.8.2.3 Pour les générateurs d'ECS

Pour tous les générateurs appartenant à la collection des générateurs d'ECS (lorsque $Id_{fonction}$ =3), le nombre d'heure du générateur à chaque taux de charge, calculé à chaque pas de temps, s'exprime alors de la manière suivante.

Au début du premier pas de temps, toutes les variables ci-dessous sont initialement nulles.

Si $Id_{encl}(j) \neq 1$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_HF\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_HF\_ecs} + 1$

Sinon

Si $0\% = \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h)$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_ecs} + 1$

Si $0\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 10\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_10\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_0\_10\_ecs} + 1$

Si $10\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 20\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_10\_20\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_10\_20\_ecs} + 1$

Si $20\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 30\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_20\_30\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_20\_30\_ecs} + 1$

Si $30\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 40\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_30\_40\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_30\_40\_ecs} + 1$ (1578)

Si $40\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 50\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_40\_50\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_40\_50\_ecs} + 1$

Si $50\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 60\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_50\_60\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_50\_60\_ecs} + 1$

Si $60\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 70\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_60\_70\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_60\_70\_ecs} + 1$

Si $70\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 80\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_70\_80\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_70\_80\_ecs} + 1$

Si $80\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) < 90\%$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_80\_90\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_80\_90\_ecs} + 1$

Si $90\% \leq \tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h)$, $nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_90\_100\_ecs} \leftarrow nbh^{gnr}_{ch\,\arg e\_90\_100\_ecs} + 1$

Avec $\tau^{gnr}_{ch\,\arg e\_ecs}(h) = \begin{cases} \tau^{gnr}_{ch\,\arg e}(h) & \text{si } \mathrm{id}_{fougen} = 3 \\ R^{gnr}_{fonc\_ECS} & \text{si } \mathrm{id}_{fougen} = 4 \end{cases}$

8.29.3.8.3 Efficacités ou rendements annuels

Le calcul des efficacités annuelles nécessitent de connaitre le total annuel d'énergie fourni par générateur et par poste :

$$\begin{cases} E_{ef\_fou\_ch}^{gnr} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{fou\_ch}^{gnr}(h) \\ E_{ef\_fou\_fr}^{gnr} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{fou\_fr}^{gnr}(h) \\ E_{ef\_fou\_ecs}^{gnr} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{fou\_ecs}^{gnr}(h) \end{cases} \quad (1579)$$

$$\begin{cases} \eta_{eff\_ch\_an}^{gnr} = \frac{E_{ef\_fou\_ch}^{gnr}}{C_{ef\_ch}^{gnr}} \\ \eta_{eff\_fr\_an}^{gnr} = \frac{E_{ef\_fou\_fr}^{gnr}}{C_{ef\_fr}^{gnr}} \\ \eta_{eff\_ecs\_an}^{gnr} = \frac{E_{ef\_fou\_ecs}^{gnr}}{C_{ef\_ecs}^{gnr}} \end{cases} \quad (1580)$$

Note : ces efficacités annuelles représentent le COP ou l'EER annuel pour les générateurs thermodynamiques, et le rendement pour les autres types de générateurs.

8.29.3.8.4 Consommations d'auxiliaires annuelle et mensuelle

- Résultats mensuels :

$$\begin{cases} C_{ef\_aux\_m}^{gnr} = \sum_{h \in mois} W_{aux}^{gnr}(h) \\ C_{ep\_aux\_m}^{gnr} = C_{ef\_aux\_m}^{gnr} \times Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1581)$$

- Résultats annuels :

$$\begin{cases} C_{ef\_aux}^{gnr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_aux\_m}^{gnr} \\ C_{ep\_aux}^{gnr} = C_{ef\_aux}^{gnr} \times Coef_{ep(50)} \end{cases} \quad (1582)$$

8.29.3.9 *Consommations en énergie finale et primaire par type d'énergie*

8.29.3.9.1 Par générateurs

Les consommations par type d'énergie et par génération s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;10)}^{gnr}(h) \right) \quad (1583)$$

$$C_{ef\_fod}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;20)}^{gnr}(h) \right) \quad (1584)$$

$$C_{ef\_cha}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;30)}^{gnr}(h) \right) \quad (1585)$$

$$C_{ef\_boi}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;40)}^{gnr}(h) \right) \quad (1586)$$

$$C_{ef\_ele}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;50)}^{gnr}(h) \right) \quad (1587)$$

$$C_{ef\_rdc}^{gnr} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;60)}^{gnr}(h) \right) \quad (1588)$$

$$C_{ep\_gaz}^{gnr} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{gnr} \quad (1589)$$

$$C_{ep\_fod}^{gnr} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{gnr} \quad (1590)$$

$$C_{ep\_cha}^{gnr} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{gnr} \quad (1591)$$

$$C_{ep\_boi}^{gnr} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{gnr} \quad (1592)$$

$$C_{ep\_ele}^{gnr} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{gnr} \quad (1593)$$

$$C_{ep\_rdc}^{gnr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{gnr} \quad (1594)$$

8.29.3.9.2 Par génération

Les consommations par type d'énergie et par génération s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;10)}^{gen}(h) \right) \quad (1595)$$

$$C_{ef\_fod}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;20)}^{gen}(h) \right) \quad (1596)$$

$$C_{ef\_cha}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} \left(Q_{cef(po;30)}^{gen}(h) \right) \quad (1597)$$

$$C_{ef\_boi}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760}\sum_{po=1}^{3}\left(Q_{cef(po;40)}^{gen}(h)\right) \quad (1598)$$

$$C_{ef\_ele}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760}\sum_{po=1}^{3}\left(Q_{cef(po;50)}^{gen}(h)\right) \quad (1599)$$

$$C_{ef\_rdc}^{gen} = \sum_{h=0}^{8760}\sum_{po=1}^{3}\left(Q_{cef(po;60)}^{gen}(h)\right) \quad (1600)$$

$$C_{ep\_gaz}^{gen} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{gen} \quad (1601)$$

$$C_{ep\_fod}^{gen} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{gen} \quad (1602)$$

$$C_{ep\_cha}^{gen} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{gen} \quad (1603)$$

$$C_{ep\_boi}^{gen} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{gen} \quad (1604)$$

$$C_{ep\_ele}^{gen} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{gen} \quad (1605)$$

$$C_{ep\_rdc}^{gen} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{gen} \quad (1606)$$

8.29.3.9.3 Par génération et par groupe

Les consommations par type d'énergie et par génération, pour un groupe, s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;10)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1607)$$

$$C_{ef\_fod}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;20)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1608)$$

$$C_{ef\_cha}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;30)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1609)$$

$$C_{ef\_boi}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;40)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1610)$$

$$C_{ef\_ele}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;50)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1611)$$

$$C_{ef\_rdc}^{gen,gr} = \sum_{po=1}^{3}\sum_{h=0}^{8760}\left(Q_{cef(poste;60)}^{gen,gr}(h)\right) \quad (1612)$$

$$C_{ep\_gaz}^{gen,gr} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{gen,gr} \quad (1613)$$

$$C_{ep\_fod}^{gen,gr} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{gen,gr} \quad (1614)$$

$$C_{ep\_cha}^{gen,gr} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{gen,gr} \quad (1615)$$

$$C_{ep\_boi}^{gen,gr} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{gen,gr} \quad (1616)$$

$$C_{ep\_ele}^{gen,gr} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{gen,gr} \quad (1617)$$

$$C_{ep\_rdc}^{gen,gr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{gen,gr} \quad (1618)$$

Pour les réseaux de chaleur et de froid, on décompose également ce dernier calcul :

$$C_{ef\_rdch}^{gen,gr} = \sum_{h=0}^{8760} \left(Q_{cef(1;60)}^{gen,gr}(h) + Q_{cef(3;60)}^{gen,gr}(h) \right) \quad (1619)$$

$$C_{ef\_rdfr}^{gen,gr} = \sum_{h=0}^{8760} \left(Q_{cef(2;60)}^{gen,gr}(h) \right) \quad (1620)$$

$$C_{ep\_rdch}^{gen,gr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdch}^{gen,gr} \quad (1621)$$

$$C_{ep\_rdfr}^{gen,gr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdfr}^{gen,gr} \quad (1622)$$

8.30 C_GEN_Echangeur_Geocooling

8.30.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme traite de la prise en compte du geocooling dans le cas d'un bâtiment climatisé. Dans ce cas de figure, le geocooling est pris en compte de manière simplifiée au travers d'un générateur de refroidissement équivalent, prenant en compte ou non l'échangeur thermique entre la source amont (géostructure, nappe souterraine…) et le réseau d'eau du bâtiment. En modélisant une génération « en cascade », on représente l'association de l'échangeur de geocooling avec un groupe frigorifique (eau/eau, air/eau, sous-station de réseau de froid urbain…) partageant le même réseau de distribution/émission. Dans le cas où il n'y a pas d'échangeur de géocooling, on représente directement l'association de la géostructure avec ce même groupe frigorifique partageant le même circuit d'eau. L'utilisation du geocooling suppose dans tous les cas que les émetteurs de refroidissement fonctionnent à un régime d'eau permettant une température retour élevée (par exemple 20°C).

L'association entre geocooling et générateur de refroidissement supplémentaire en série se présente généralement de la manière suivante :

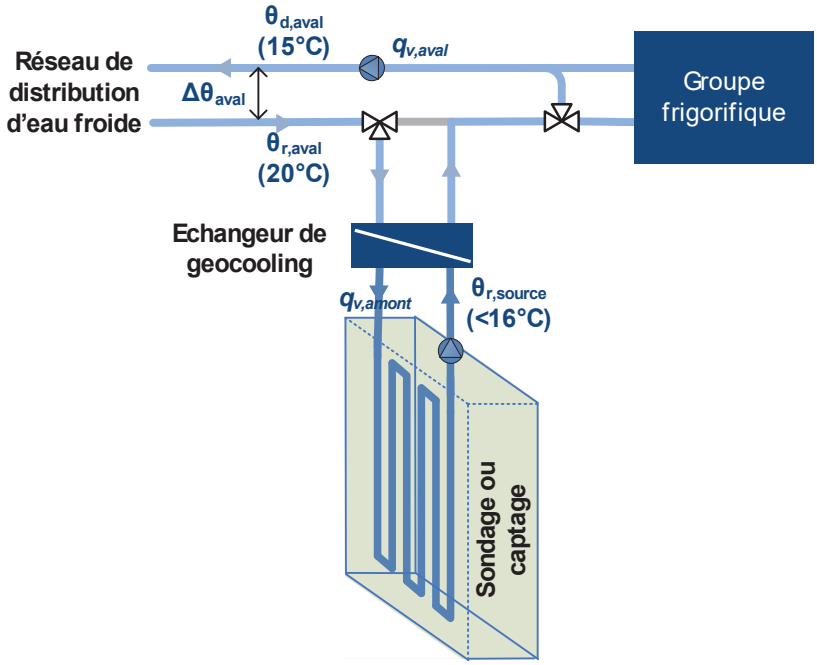


Figure 173: association d'un échangeur de geocooling et d'un groupe frigorifique

Dans le cas où il n'y a pas d'échangeur de géocooling, le bloc représentant celui-ci est absent du schéma.

On identifie deux types d'association possible :

1) Si l'échangeur est présent :

- **1er cas « base + complément » :** le geocooling refroidit l'eau partiellement de quelques degrés, et un générateur de refroidissement vient compléter jusqu'à la température départ voulue (par exemple 15°C).

- **2ème cas « alterné »** : le geocooling est utilisé lorsque sa puissance est suffisante pour refroidir le bâtiment. S'il s'avère insuffisant, on bypass l'échangeur et on utilise uniquement le second générateur de refroidissement. Cela suppose que ce dernier peut couvrir seul les besoins de refroidissement du bâtiment. Ce type d'association devra être utilisé dans le cas où le générateur de refroidissement complémentaire est un générateur thermodynamique partageant la même source que le geocooling.

Dans les deux cas, si le geocooling s'arrête à cause de la température de source, le générateur de refroidissement complémentaire prend le relai seul. L'échangeur de geocooling est systématiquement prioritaire par rapport aux autres générateurs de froid.

2) S'il n'y a pas d'échangeur :

- **1er cas « base + complément » :** le geocooling refroidit l'eau partiellement de quelques degrés, et un générateur de refroidissement vient compléter jusqu'à la température départ voulue (par exemple 15°C). C'est le même fonctionnement que dans le premier cas.

- **2ème cas « alterné »** : le geocooling est utilisé lorsque sa puissance est suffisante pour refroidir le bâtiment. S'il s'avère insuffisant, on utilise uniquement le second générateur de refroidissement. Cela suppose que ce dernier peut couvrir seul les besoins de refroidissement du bâtiment. Ce type d'association devra être utilisé dans le cas où le générateur de refroidissement complémentaire est un générateur thermodynamique partageant la même source que le geocooling.

Dans les deux cas, si le geocooling s'arrête à cause de la température de source, le générateur de refroidissement complémentaire prend le relai seul.

8.30.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 254 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{amont}(h)$	Température de source amont géothermique	°C
$\theta_{aval(fr)}(h)$	Température aval du générateur (température moyenne départ/retour réseau d'eau froide du bâtiment)	°C
$W_{aux,am}(h)$	Consommation électrique des circulateurs de la source amont géothermique	W
$Q_{req,fr}(h)$	Besoin énergétique pour le refroidissement	Wh
$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante pour le calcul des pertes thermiques du générateur	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$q_{v,aval,nom}$	Débit volumique d'eau froide nominal de la production d'eau froide	m^3/h	0	+∞	
$\Delta\theta_{aval}$	Ecart de température départ-retour nominal de la production d'eau froide	°C	0	8	
$q_{v,amont,nom}$	Débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source amont	m^3/h	0	+∞	
$\Delta\theta_{amont}$	Ecart de température nominal aux bornes de l'échangeur côté source amont	°C	0	8	

$\theta_{r,source,lim}$	Température limite de retour d'eau côté source pour la désactivation de la fonction geocooling	°C	0	25
$UA_{geo,nom}$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre	W/K	0	+∞
$P_{cprim,nom}$	Puissance du circulateur du circuit primaire associée à l'échangeur de geocooling (le cas échéant)	W	0	+∞

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Is_Echangeur_Intermediaire	Indicateur précisant la présence ou non de l'échangeur de géocooling entre le circuit d'eau des capteurs géothermiques et le circuit d'eau du bâtiment : 0 : Non 1 : Oui	-	0	1	
id_{fougen}	Mode de fonctionnement admis par le générateur : *Refroidissement : 2*	Ent	0	6	2
id_{engen}	Identificateur de l'énergie principale : *Electricité: 5*	Ent	1	6	5
id_{fluide_aval}	Nature du fluide aval : *1 : eau*	Ent	1	2	1
id_{fluide_amont}	Nature de la source amont : *1 : eau*	Ent	1	3	1
R_{dim}	Nombre de générateur identique	Ent	1	+∞	1
Type_Association	Type d'association avec les autres générateurs de froid: *0 - Base et complément,* *1 - Alterné*	Ent	0	1	0

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{fou}(h)$	Energie totale effectivement fournie par le générateur pour le mode sollicité.	Wh
$\{Q_{cef}(h)\}$	Matrice des consommations par poste et par type d'énergie	Wh
$W_{aux,pro}(h)$	Consommation d'auxiliaire propre au générateur (hors source amont)	Wh
$P_{n,gen,fr}$	Puissance de refroidissement de l'échangeur de geocooling dans les conditions nominales	W
$Q_{rest}(h)$	Energie restant à fournir (dépassant la puissance maximale du générateur) pour le mode sollicité.	Wh
$\Phi_{rejet}(h)$	Quantité d'énergie rejetée à la source amont (générateur thermodynamique)	Wh
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur	-

$\eta_{eff}(h)$	Efficacité du générateur en énergie finale	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$P_{max}(h)$	Puissance de refroidissement maximale au pas de temps h	W
$\theta_{d,aval,pc}(h)$	Température de départ aval de l'échangeur à plein débit côté source	°C
$\theta_{r,aval}(h)$	Température de retour aval de l'échangeur	°C
$\theta_{d,amont}(h)$	Température de départ amont de l'échangeur	°C
$\theta_{r,amont}(h)$	Température de retour amont de l'échangeur	°C
$q_{v,aval}(h)$	Débit volumique d'eau dans l'échangeur de geocooling (ou dans le circuit hydraulique s'il n'y a pas d'échangeur) côté distribution	m^3/h
$q_{v,amont}(h)$	Débit volumique d'eau dans l'échangeur de geocooling (ou dans le circuit hydraulique s'il n'y a pas d'échangeur) côté source amont	m^3/h
Is_On(h)	Indicateur booléen d'activation possible du geocooling au pas de temps h	Bool
$\varepsilon_{geo}(h)$	Efficacité de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
NUT(h)	Coefficient caractéristique adimensionnel NUT de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
C(h)	Rapport de déséquilibre des débits énergétiques de l'échangeur de geocooling	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_e	Masse volumique de l'eau	kg/m^3	1000
c_e	Capacité calorifique massique de l'eau	J/(kg.K)	4190

Tableau 254 : Nomenclature des différentes variables du modèle

8.30.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

Les différentes étapes de l'algorithme sur un pas de temps sont présentées de manière séquentielle dans les paragraphes ci-dessous.

8.30.3.1 ***Détermination du type d'installation de géocooling***

La première étape consiste à déterminer le type d'installation de geocooling, à savoir si un échangeur intermédiaire est présent ou non dans celle-ci. Cette première étape permet de calculer l'indicateur « Is_Echangeur_Geo » qui définit si un échangeur intermédiaire est présent ou non dans le système de geocooling.

Si un échangeur de géocooling est présent, on obtient la valeur suivante :

$$Is\_Echangeur\_Intermediaire = 1 \quad (1623)$$

Sinon, on obtient la valeur suivante :

$$Is\_Echangeur\_Intermediaire = 0 \quad (1624)$$

8.30.3.2 ***Calcul des températures retour de distribution et de source***

En deuxième étape, on estime les températures entrant dans l'échangeur de geocooling de part et d'autre (ou entrant dans le réseau de captage et sortant de celui-ci) :

- la température retour côté bâtiment à partir de la température aval du générateur. Pour rappel, cette dernière est par définition la moyenne des températures départ et retour de distribution d'eau froide. Par ailleurs, on ne connait pas l'écart de température $\Delta\theta_{aval}$ au niveau des générateurs. On suppose par conséquent un fonctionnement de la génération $\Delta\theta_{aval}$ constant et débit variable au niveau de la génération. Ainsi :

$$\theta_{r,aval}(h) = \theta_{aval}(h) + \frac{\Delta\theta_{aval}}{2} \quad (1625)$$

- la température retour côté source à partir de la température amont. Le principe est le même que pour la température aval :

$$\theta_{r,amont}(h) = \theta_{amont}(h) - \frac{\Delta\theta_{amont}}{2} \quad (1626)$$

Ces équations sont identiques dans le cas où il n'y a pas d'échangeur de géocooling.

8.30.3.3 ***Condition d'activation sur la température retour de source amont***

L'étape suivante consiste à vérifier que la condition d'activation du point de vue de la température retour de la source amont $\theta_{r,amont}(h)$. Cette dernière doit être inférieure à la consigne limite $\theta_{r,source,lim}$. Cette dernière doit prendre en compte l'effet de pincement au niveau de l'échangeur de geocooling (si celui-ci est présent dans l'installation) et la limite réelle imposée pour permettre une régénération de la ressource géothermique au fil de l'année.

Si $\theta_{r,amont}(h) < \theta_{r,source,lim}$ et $\theta_{r,amont}(h) < \theta_{r,aval}(h)$ $(= \theta_{d,amont}(h)\ dans\ le\ cas\ où\ il\ n'y\ a\ pas\ d'échangeur)$, alors :

$Is_{On(h)} = vrai$ (1627)

Sinon,

$Is_{On(h)} = faux$

8.30.3.4 ***Prise en compte de l'échangeur de geocooling***

L'efficacité de l'échangeur de geocooling $\varepsilon_{geo}(h)$ est calculée selon la méthode utilisée pour les échangeurs intermédiaires des sources amont de type « captage de type nappe avec échangeur », définie au chapitre 8.30, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

On calcule cette efficacité uniquement dans le cas où un échangeur intermédiaire de géocooling est présent dans l'installation.

On souhaite estimer la température départ aval $\theta_{d,aval}(h)$ en fonction des températures retours précédemment calculées :

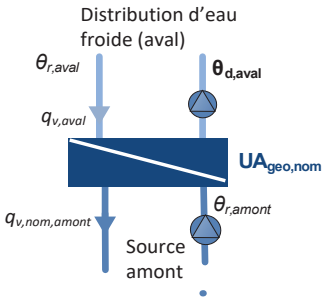


Figure 174: modélisation de l'échangeur de geocooling

Concernant le débit d'eau côté bâtiment, la valeur de débit aval utilisée dans les réseaux de distribution n'est pas disponible. On l'estime alors sur la base du $\Delta\theta_{aval}$ et du besoin en refroidissement :

$$q_{v,aval}(h) = MIN\left(\frac{Q_{req,fr}(h)}{\rho_e . c_e . \Delta\theta_{aval}}; q_{v,aval,nom}\right) \quad (1628)$$

On caractérise l'échangeur de geocooling en partant du principe que le débit d'eau côté source est fixé à sa valeur nominale $q_{v,amont,nom}$.

On a donc la relation suivante :

$$q_{v,amont}(h) = q_{v,amont,nom}. \quad (1629)$$

On peut ainsi calculer un taux de charge équivalent à transmettre à la source amont.

Bien que le débit côté distribution, $q_{v,aval}(h)$ puisse varier, on fera l'hypothèque que le coefficient d'échange $UA_{geo,nom}$ reste applicable. Par ailleurs, on considèrera que les constantes physiques du fluide côté source sont celles de l'eau sans additif (type glycol).

$$NUT(h) = \frac{3600 . UA_{geo,nom}}{\rho_e . c_e . MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,amont,nom})} \quad (1630)$$

On détermine le coefficient de déséquilibre de l'échange thermique :

$$C(h) = \frac{MIN(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))}{MAX(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))} \quad (1631)$$

Si C (h) = 1 (transfert thermique à débits équilibrés), alors,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h)+1} \quad (1632)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-C(h))}}{1 - C(h).e^{-NUT(h).(1-C(h))}} \quad (1633)$$

On en déduit la température $\theta_{d,aval,pc}(h)$ correspondant à un fonctionnement à débit d'eau côté source fixé à sa valeur nominale :

$$\theta_{d,aval,pc}(h) = \theta_{r,aval}(h) + \varepsilon_{geo}(h).\frac{MIN(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))}{q_{v,aval}(h)}.\left(\theta_{r,amont}(h) - \theta_{r,aval}(h)\right) \quad (1634)$$

La puissance maximale équivalente de l'échangeur de geocooling peut être exprimée comme suit:

$$P_{max}(h) = q_{v,aval}(h).\rho_e.c_e.\left[\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval,pc}(h)\right] \quad (1635)$$

$P_{max}(h)$ est nécessairement positive ou nulle.

8.30.3.5 *Cas où il n'y a pas d'échangeur dans l'installation de géocooling*

Comme dans le cas avec échangeur, concernant le débit d'eau côté bâtiment, la valeur de débit aval utilisée dans les réseaux de distribution n'est pas disponible. On l'estime alors sur la base du $\Delta\theta_{aval}$ et du besoin en refroidissement :

$$q_{v,aval}(h) = MIN\left(\frac{Q_{req,fr}(h)}{\rho_e.c_e.\Delta\theta_{aval}}; q_{v,aval,nom}\right) \quad (1636)$$

Comme précédemment, on part du principe que le débit d'eau côté source est fixé à sa valeur nominale $q_{v,amont,nom}$, sans la présence de l'échangeur. On a donc la relation suivante :

$$q_{v,amont}(h) = q_{v,amont,nom}. \quad (1637)$$

Comme il n'y a pas d'échangeur intermédiaire de géocooling, le débit d'eau côté source doit être égal au débit d'eau côté distribution. Si ce n'est pas le cas, on affecte la valeur du débit d'eau côté distribution au débit d'eau côté source amont. Cela se traduit par l'algorithme suivant :

$$Si\ q_{v,amont}(h)\ !=\ q_{v,aval}(h), \text{ alors :}$$
$$q_{v,amont}(h)\ =\ q_{v,aval}(h) \quad (1638)$$

Cependant, comme il n'y a pas d'échangeur intermédiaire de géocooling entre le circuit des capteurs géothermiques et le circuit d'eau froide du bâtiment, il n'est pas nécessaire de déterminer l'efficacité de celui-ci.

Dans ce cas, nous avons les relations suivantes :

$$\theta_{d,aval}(h) = \theta_{r,amont}(h) \quad (1639)$$

$$\theta_{r,aval}(h) = \theta_{d,amont}(h) \quad (1640)$$

8.30.3.6 *Prise en compte du type d'association avec les autres générateurs de froid*

8.30.3.6.1 Cas avec échangeur

Dans le cas d'une association « alterné » (Type_Association = 2), l'échangeur de geocooling n'est utilisé que si sa puissance maximale $P_{max}(h)$ est suffisante pour rafraichir le bâtiment. Dans le cas contraire, il est considéré comme arrêté, ce qui revient à appliquer l'algorithme suivant à la suite de l'équation (1635) :

Si $Q_{req,fr}(h) > P_{max}(h)$, alors :

$$P_{max}(h) = 0\ W \quad (1641)$$

Par contre, dans le cas d'une association « base+complément » (Type_Association = 1), l'échangeur de geocooling est utilisé dès que les températures de sources le permettent.

8.30.3.6.2 *Cas sans échangeur*

Il n'y a pas d'échangeur donc dans les deux cas d'association, il n'est jamais utilisé.

On a donc la relation suivante :

$$P_{max}(h) = 0\ W \quad (1642)$$

8.30.3.7 *Calcul des sorties*

La puissance nominale du générateur $P_{n,gen,fr}$ est évaluée une seule fois au début de la simulation. Elle est calculée selon la méthode du §8.30.3.4, en considérant les débits d'eau nominaux de part et d'autre de l'échangeur (ou du circuit d'eau s'il n'y a pas d'échangeur) et en imposant $\theta_{r,aval} = 20°C$ et $\theta_{r,amont} = 10°C$.

Les autres sorties sont calculées à chaque pas de temps h. Pour ce qui est de la quantité d'énergie fournie, de la quantité d'énergie restante et du taux de charge équivalent :

$$Q_{fou}(h) = MIN\left(Q_{req,fr}(h); P_{max}(h)\right) \quad (1643)$$

$$Q_{rest}(h) = Q_{req,fr}(h) - Q_{fou}(h) \quad (1644)$$

$$\tau_{charge}(h) = MIN\left(1; \left|\frac{Q_{fou}(h)}{P_{max}(h)}\right|\right) \quad (1645)$$

Si $P_{max}(h)$ est nulle, alors $\tau_{charge}(h) = 0\%$.

La quantité d'énergie rejetée à la source (positive par convention pour un générateur de refroidissement) est égale à la quantité d'énergie envoyée sur le réseau de distribution :

$$\Phi_{rejet}(h) = Q_{fou}(h) \quad (1646)$$

Les consommations électriques de circulateur sont déjà comptabilisées aussi bien côté distribution d'eau froide (dans Cep_dist) que côté source amont, au travers de $W_{aux,am}(h)$. Il se peut néanmoins qu'un circulateur spécifique au circuit primaire soit mis en place, notamment lorsqu'un petit volume de stockage est associé à l'installation. Dans ce cas de figure, à l'instar des autres générateurs pris en compte dans la méthode Th-BCE, la consommation électrique de circulateur nominale $P_{cprim,nom}$ est comptabilisée partiellement, au prorata du ratio entre débit aval effectif et débit aval nominal:

$$W_{aux,pro}(h) = \frac{q_{v,aval}(h)}{q_{v,aval,nom}} . P_{cprim,nom} \quad (1647)$$

$$Q_{cef\{fr;elec\}}(h) = W_{aux,pro}(h) \quad (1648)$$

L'efficacité du générateur de geocooling peut être définie comme suit :

$$\eta_{eff}(h) = \frac{Q_{fou}(h)}{W_{aux,pro}(h) + W_{aux,am}(h)} \quad (1649)$$

8.31 C_Sys_Rafraichissement par geocooling (en groupe non-climatisé)

8.31.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme traite de la prise en compte globale d'une installation de geocooling. Cette installation est décrite en deux sous-ensembles, conformément à la possibilité offerte pour l'interface du moteur de calcul pour les systèmes de rafraichissement :

- un ou plusieurs composants décrivant les émetteurs du système de geocooling (Geocooling – Emission) dans les différents groupes, ainsi que la partie terminale du réseau de distribution d'eau froide (distribution du groupe au sens de la méthode Th-BCE). On intègre également dans ce sous-bloc tout ce qui attrait à la régulation terminale du geocooling (modulation de puissance dans les locaux),

- un composant décrivant la distribution intergroupes, au sens de la méthode Th-BCE, et l'échangeur de séparation (s'il est présent car il existe des configurations possibles sans celui-ci) entre l'eau froide du bâtiment et l'eau de la source amont géothermique. On intègre également dans ce sous-bloc tout ce qui a trait à la régulation centrale du geocooling, notamment l'activation/désactivation en fonction de la température de source. Ce second composant se place au niveau de la génération.

On ne modélise pas la source amont géothermique en elle-même, cette dernière restant prise en compte conformément à la méthode Th-BCE §C_Gen_Sources amonts des générateurs thermodynamiques.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, il existe également pour le geocooling des configurations sans la présence de l'échangeur intermédiaire entre le circuit d'eau des capteurs géothermiques et le circuit d'eau du bâtiment. En effet, il est possible d'avoir des configurations dans lesquelles nous avons un unique circuit d'eau passant à la fois dans les capteurs géothermiques et dans les émetteurs. Nous décrirons cette installation par la suite dans cette présente fiche algorithme.

8.31.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 255 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera *h* le pas de temps de simulation et *j* le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Geocooling - Emission	$\theta_{sd}(h)$	Température de sonde intérieure au sens du §C_Emi_Systèmes émissions du groupe en chaud et en froid de Th-BCE.	°C
	$\theta_{cons,fr}(h)$	Température de consigne de refroidissement du groupe au pas de temps h	°C
	$Aut_{\_ch\_eff}(h)$	Autorisation de chauffage effective au pas de temps h	Ent.
	$\phi_{crois,raf}(h)$	Puissance requise (négative) pour maintenir la température de consigne du rafraichissement direct au pas de temps h	W
	$\theta_{i,moy(0,;0)}(h)$	Température d'air intérieur moyenne sans prise en compte des puissances émises sur le pas de temps h	°C
	$\theta_{rm,moy(0,;0)}(h)$	Température radiante moyenne sans prise en compte des puissances émises sur le pas de temps h	°C
(si présence échangeu	*$\theta_{amont}(h)$*	*Température de la source amont au pas de temps h*	*°C*
	$W_{aux,am}(h)$	*Consommation électrique de la source amont géothermique au pas de temps h*	*Wh*
	$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure au pas de temps h	°C

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Emission	*Typologie_ Emetteur_ Froid*	Typologie d'émetteur pour la détermination du P_{em_conv} (voir Tableau 256).	-	0	6	
	P_{em_conv}	Ratio d'énergie convective sur l'énergie totale transmise (voir 8.1)	-	0	1	-
	$P_{per,em}$	Ratio de pertes au dos de l'émetteur sur l'énergie émise.	-	0	1	-
	$K_{em,100\%}$	Coefficient de transfert thermique à100% débit d'eau froide nominal entre l'émetteur et l'ambiance intérieure	W/K	0	+∞	
	$K_{em,30\%}$	Coefficient de transfert thermique à 30% du débit d'eau froide nominal entre l'émetteur et l'ambiance intérieure	W/K	0	+∞	
	q_{nom}^{em}	Débit volumique d'eau froide nominal pour l'émission du geocooling	m^3/h	0	+∞	
	$P_{VCV\_MV}^{em}$ $P_{VCV\_veille}^{em}$	Puissance absorbée par les ventilateurs locaux d'émission du geocooling en moyenne vitesse (MV) et en mode veille	W	0	+∞	
	Is_Echangeur_Intermediaire	Présence ou non de l'échangeur intermédiaire entre le circuit d'eau des capteurs géothermiques et le circuit d'eau du bâtiment : 0 : Pas d'échangeur intermédiaire 1 : Avec échangeur intermédiaire	-	0	1	

Source amont (si présence d'un échangeur)	$\theta_{d,geo,nom}$	Température départ d'eau froide de consigne pour la fonction geocooling	°C	15	25	
	$\Delta\theta_{hyst,d,Geo}$	Hystérésis de la régulation sur la température départ du système de geocooling	°C	0	2	1.0
	$\theta_{r,source,lim}$	Température limite de retour d'eau côté source pour la désactivation de la fonction geocooling	°C	0	25	
	$\Delta\theta_{d\text{-}r,source}$	*Ecart de température nominal aux bornes de l'échangeur côté la source amont*	*°C*	*0*	+∞	*3*
	$UA_{geo,nom}$	*Coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre*	*W/K*	*0*	+∞	
	$q_{nom,geo}$	*Débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source géothermique*	*m^3/h*	*0*	+∞	

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Emission	L_{vc}	Longueur totale du réseau de distribution du groupe en volume chauffé pour le composant geocooling - émission	m	0	+∞	
	U_{vc}	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau de distribution du groupe en volume chauffé pour le composant geocooling - émission	W/(m.K)	0	+∞	
Distribution intergroupes	$L_{vc,dist}$	Longueur totale de distribution intergroupes de l'installation de geocooling	m	0	+∞	
	$U_{vc,dist}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau de distribution	W/(m.K)	0	+∞	
	b_{dist}	Coefficient de prise en compte de l'impact du passage dans des espaces non-chauffés/rafraichis de la distribution	-	0	1	
	$P_{circ,nom}$	Puissance électrique consommée par le ou les circulateurs de la distribution intergroupes et primaire au débit nominal	W	0	+∞	
	id_{circ}	Mode de régulation du circulateur de distribution du geocooling : *1 : Vitesse constante,* *2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle constante,* *3 : Vitesse variable et variations de la pression différentielle du réseau.*	Ent.	0	3	-

Sorties

	Nom	Description	Unité
	$\theta_{cons}(h)$	Température de consigne du rafraichissement au pas de temps h	°C

	Is_On (h)	Indicateur booléen d'activation du rafraichissement au pas de temps h	Bool
	$\phi_{utile,eff}^{em}$(h)	Puissance de rafraichissement utile (négative) appliquée au groupe au pas de temps h	W
	$\Phi_{pertes,vc}$(h)	Pertes thermiques récupérables totales liées au rafraichissement directe pour le groupe d'indice gr contenant l'émission em.	Wh
	$W_{aux,dis}^{em}$(h)	Consommation électrique du rafraichissement pour le poste « distribution » (ramenée au groupe)	Wh
	$W_{aux,vent}^{em}$(h)	Consommation électrique du rafraichissement pour le poste « ventilation » (ramenée au groupe)	Wh
Si présence d'un échangeur	*$\tau_{charge,geo}(h)$*	*Taux de charge équivalent de l'échangeur de geocooling*	-
	$P_{n,geo}(h)$	*Puissance nominale de rafraichissement de l'échangeur de geocooling*	*W*
	$\Phi_{rejet,geo}(h)$	*Puissance rejetée à la source amont par l'échangeur de geocooling (positive en rafraichissement)*	*W*

Variables internes

	Nom	Description	Unité
	On_Off(h)	Indicateur booléen d'activation du geocooling au pas de temps h.	Bool
	Is_{saison_ch}(j)	Indicateur booléen précisant si l'un des groupes connectés est en saison de chauffage	Bool
Emission	$K_{em,100\%}$' $K_{em,30\%}$'	Coefficients de transfert thermique $K_{em,100\%}$ et $K_{em,30\%}$ corrigés pour inclure les pertes aux dos	W/K
	$K_{em,eff}$'(h)	Coefficients de transfert thermique au débit d'eau froide effectif	W/K
	θ_{ref}^{em}(h)	Température intérieure de référence pour le transfert thermique par l'émission du geocooling	°C
Débits d'eau froide	q_{nom}^{dist}	Débit volumique d'eau froide nominal au niveau de la génération	m^3/h
	q_{eff}^{dist}(h)	Débit volumique effectif au pas de temps h pour la partie génération du geocooling	m^3/h
	q_{eff}^{em}(h)	Débit volumique effectif au pas de temps h pour la partie émission du geocooling	m^3/h
	W_{circ}^{dist}(h)	Consommation électrique du rafraichissement pour le poste distribution d'eau	Wh
	$\theta_{amb,fr}$(h)	Température ambiante équivalente pour le calcul des pertes des distributions intergroupes	°C

Flux thermiques	$\phi_{utile,nom}^{em}(h)$	Puissance de rafraichissement utile au débit d'eau nominal disponible à l'émetteur (négative)	W
	$\phi_{utile,30\%}^{em}(h)$	Puissance de rafraichissement utile à 30% du débit d'eau nominal disponible à l'émetteur (négative)	W
	$\phi_{pertes,d}^{em}(h)$ $\phi_{pertes,r}^{em}(h)$	Pertes thermiques sur les portions départ (d) et retour (r) du réseau de distribution terminal (du groupe)	W
	$\phi_{pertes,d}^{dist}(h)$ $\phi_{pertes,r}^{dist}(h)$	Pertes thermiques sur les portions départ (d) et retour (r) du réseau de distribution intergroupes	W
Températures d'eau aux différents nœuds	$\theta_{e,nom}^{em}(h)$ $\theta_{s,nom}^{em}(h)$	Températures d'eau entrant et sortant de l'émission de rafraichissement par geocooling au débit d'eau nominal	°C
	$\theta_{s,30\%}^{em}(h)$	Température d'eau sortant de l'émission de rafraichissement par geocooling à 30% du débit d'eau nominal	°C
	$\theta_{e,eff}^{em}(h)$ $\theta_{s,eff}^{em}(h)$	Température d'eau effective entrant et sortant de l'émission de rafraichissement par geocooling	°C
	$\theta_{r,dist}^{em}(h)$	Température d'eau retour du réseau de distribution du groupe (associé à l'émission)	°C
	$\theta_{d,dist}(h)$ $\theta_{r,dist}(h)$	Températures d'eau départ et retour moyenne des distributions du groupe	°C
	$\theta_{d,aval}(h)$ $\theta_{r,aval}(h)$	Températures d'eau départ et retour moyenne de l'échangeur de geocooling (si présence d'un échangeur)	°C
	$\theta_{d,aval,pc}(h)$ $\theta_{d,aval,pc}(h-1)$	Températures d'eau départ à plein débit côté source au pas de temps h et h-1	°C
Echangeur/stockage (si présence d'un échangeur)	$Q_{geo,eff}(h)$	Quantité d'énergie de rafraichissement effective à fournir par l'installation de geocooling	Wh
	$\theta_{r,amont}(h)$	Température retour de source amont (température entrant dans l'échangeur côté source)	°C
	$\theta_{d,amont}(h)$	Température départ de source amont (température sortant de l'échangeur côté source)	°C
	$\varepsilon_{geo}(h)$	Efficacité de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
	NUT(h)	Coefficient caractéristique adimensionnel NUT de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
	C(h)	Rapport de déséquilibre des débits énergétiques de l'échangeur de geocooling	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.

ρ_e	Masse volumique de l'eau	kg/m^3	1006
c_e	Capacité calorifique massique de l'eau	J/(kg.K)	4190
$\theta_{vc,ref,fr}$	Température intérieure du volume rafraichi de référence pour le calcul des pertes thermiques des distribution intergroupes	°C	26
$Part_{recup\_intgr}$	Part récupérable des pertes thermiques vers l'ambiance rafraichi des distributions intergroupes de geocooling	%	60%

Tableau 255 : Nomenclature des différentes variables du modèle

8.31.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

8.31.3.1 ***Principe du calcul***

L'algorithme est composé de trois étapes séquentielles :

- **1-** Gestion régulation du geocooling **:** cette étape intègre la configuration d'installation choisie (présence d'un échangeur intermédiaire ou non), les éléments de régulation saisonnière, ainsi que le calcul de l'autorisation d'activation du geocooling au travers du seuil limite sur la température d'eau de retour de la géostructure. Si un échangeur intermédiaire est présent, cette dernière température correspond à la température entrant dans l'échangeur, et s'il n'y a pas d'échangeur intermédiaire dans l'installation, celle-ci correspond à la température de départ de l'eau froide du réseau. Enfin, on détermine la température ambiante de consigne retenue au niveau de la régulation terminale.

- **2-**Détermination de la puissance de rafraichissement nominale et effective pour chaque groupe **:** cette seconde étape intervient si l'installation est activée à l'issue de l'étape 1 et si un besoin en rafraichissement est constaté pour au moins un des groupes connectés. On détermine tout d'abord l'état de la boucle de distribution d'eau froide du bâtiment à pleine charge, afin de déterminer la puissance maximale de rafraichissement disponible. Une fois le calcul de la puissance effective de rafraichissement utilisée au niveau de chaque groupe, on détermine l'état effectif (à charge partielle) de la boucle de distribution d'eau froide du bâtiment et les consommations d'auxiliaire électriques associées.

- **3-** Consommation d'énergie et rejet thermique à la source amont**:** Si un échangeur intermédiaire est présent dans l'installation, on calcule la quantité d'énergie puisée au niveau de l'échangeur de geocooling pour préparer le calcul au pas de temps suivant, et on finalise le calcul des consommations électriques en ajoutant les consommations de source amont et de distribution intergroupes. S'il n'y a pas d'échangeur dans l'installation, on finalise le calcul des consommations électriques en ajoutant uniquement les consommations de distribution intergroupes

8.31.3.2 ***Gestion régulation du geocooling***

8.31.3.2.1 Détermination du type d'installation de geocooling considéré

La première étape consiste à déterminer le type d'installation de geocooling, à savoir si un échangeur intermédiaire est présent ou non dans celle-ci. Cette première étape permet de calculer l'indicateur « Is_Echangeur_Intermediaire » qui définit si un échangeur intermédiaire est présent ou non dans le système de geocooling.

Si un échangeur intermédiaire est présent, on obtient la valeur suivante :

$$Is\_Echangeur\_Intermediaire = 1 \quad (1650)$$

Sinon, on obtient la valeur suivante :

$$Is\_Echangeur\_Intermediaire = 0 \quad (1651)$$

8.31.3.2.2 Conditions d'activation

La deuxième étape consiste à déterminer la disponibilité de la ressource de geocooling en fonction de la température de source au pas de temps précédent. Cette première étape permet de calcul l'indicateur On_Off(h) d'activation ou non du geocooling. Elle sera intégrée dans la fonction d'appel **Run_OnNewHour** propre à l'ouverture du moteur partie Génération.

Les conditions d'activation du geocooling sont les suivantes :

- On se trouve hors saison de chauffage pour l'ensemble des groupes connectés, c'est-à-dire si $Is_{saison\_ch}(j)$ est faux. Cet indicateur est déterminé à partir des indicateurs des différents groupes connectés :

$$Is_{saisonch}(j) = \max_{gr}(Aut_{ch}^{gr}(j)) \quad (1652)$$

- Dans le cas où il y a un échangeur intermédiaire entre le circuit d'eau des capteurs géothermiques et le circuit d'eau du bâtiment, nous avons la condition suivante : une température retour de la source amont $\theta_{r,amont}(h)$ inférieure à $\theta_{r,source,lim}$. Cette température retour est estimée à partir de la température amont (moyenne départ/retour) renvoyée par la source amont et la différence départ/retour nominale (fixée à 3 °C) :

$$\theta_{r,amont}(h) = \theta_{amont}(h) - \frac{\Delta\theta_{d-r,source}}{2} \quad (1653)$$

  La température de source limite $\theta_{r,source,lim}$ doit nécessairement être inférieure à la température départ de consigne du geocooling $\theta_{d,Geo,nom}$. Elle doit prendre en compte l'effet de pincement au niveau de l'échangeur de geocooling.

- De par les caractéristiques de l'ouverture utilisée, le geocooling ne peut être activé au niveau d'un groupe que lorsque les systèmes de chauffage ou de refroidissement du groupe sont désactivés.

Si c'est trois conditions sont remplies, on fixe alors le booléen Is_On(h) à « vrai », qui est communiqué en sortie de la fonction d'appel **Est_Active** au niveau de chaque groupe

8.31.3.2.3 Détermination de la température de consigne

La fonction d'appel **Est_Active** est aussi employée pour définir la température de consigne du geocooling.

On considèrera que le système prévoit des températures de consigne identiques à un système de refroidissement. On reprend à ce titre directement la température de consigne $\theta_{cons,fr}(h)$ intégrant l'impact des périodes d'occupation, de relance et d'inoccupation, ainsi que le type d'usage du groupe. On rappelle qu'en occupation, cette température est de 28°C en usage d'habitation et de 26°C dans les autres usages.

En fonction de cette température de consigne, le moteur calcule un besoin en refroidissement conformément à la méthode basée sur la droite de comportement thermique du groupe (voir méthode Th-BCE 5.21).

8.31.3.3 *Détermination de la puissance de rafraichissement nominale et effective pour chaque groupe*

Contrairement à la modélisation d'un système usuel de la méthode Th-BCE, la prise en compte du rafraichissement par geocooling implique de déterminer une puissance maximale de rafraichissement disponible.

La puissance que peut fournir l'émetteur à eau dépend de la différence de température entre l'eau circulant à l'intérieur et la température du local. Il faut donc caractériser l'état de la boucle de distribution en considérant un taux d'utilisation du geocooling de 100%, dans l'objectif d'estimer la température entrant dans les différents émetteurs de rafraichissement $\theta_{e,nom}^{em}(h)$ en conditions nominales.

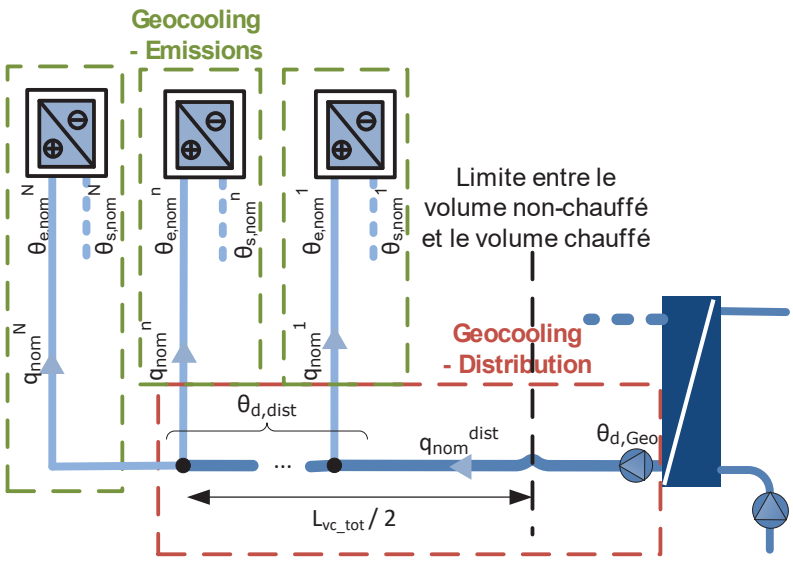


Figure 175 : calcul de la température d'eau froide entrant et sortant des émetteurs dans les conditions nominales (avec échangeur intermédiaire)

8.31.3.3.1 Première partie du calcul des pertes de distribution intergroupes : calcul de la température départ des distributions

La première étape consiste à estimer l'impact des pertes thermiques sur la température d'eau départ pour les distributions collectives (intergroupes). Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Run_OnNewHour** propre à l'ouverture du moteur partie Génération.

Soit $\theta_{d,Geo}(h)$ la température départ commune à toute l'installation de geocooling. Si le geocooling est activée, il est supposé fonctionner à sa température départ de consigne $\theta_{d,Geo,nom}$ imposée par la régulation. Le fonctionnement tout à rien sur le principe de l'hystérésis introduit néanmoins une dérive dans la température départ moyenne effectivement constatée d'environ la moitié de l'hystérésis.

Par ailleurs, dans le cas où la quantité d'énergie sur l'échangeur de geocooling aurait été insuffisante pour atteindre cette température départ nominale au pas de temps précédent, on considèrera qu'il y a eu dérive de la température départ. On corrige donc en reprenant la valeur calculée au pas de temps précédent.

Ainsi, dans le cas où un échangeur intermédiaire est présent entre les deux circuits, nous avons :

$$\theta_{d,aval}(h) = MAX\left(\theta_{d,aval,pc}(h-1); \theta_{d,geo,nom} + \frac{\Delta\theta_{hyst,d,Geo}}{2}\right) \quad (1654)$$

Où $\Delta\theta_{hyst,d,Geo}$ est la valeur de l'hystérésis retenue par la régulation du système de geocooling, fixée conventionnement à 1°C.

Dans le cas contraire, nous avons :

$$\theta_{d,aval}(h) = \theta_{d,Geo}(\mathrm{h}) = \theta_{d,geo,nom} \quad (1655)$$

La première étape est de calculer $\theta_{d,,dist}$, moyenne des températures aux niveaux des embranchements entre distribution intergroupes et distributions du groupe.

En termes de pertes thermiques, seule la portion en volume rafraichi est prise en compte. En effet, par soucis de simplification, on fait l'hypothèse que les portions hors volume rafraichi sont enterrées ou en sous-sol, environnées par des températures proches de la température d'eau froide. A ce titre, leur impact est estimé négligeable.

La longueur de distribution à considérer est la moitié de la longueur totale L_{vc_tot}, dans la mesure où cette dernière englobe la portion départ et la portion retour.

La température départ au débit d'eau nominal $q_{ef,nom}$ est calculée de la manière suivante :

$$\theta_{d,dist}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{dist}.\rho_e.c_e + \frac{U_{vc\_dist}.\frac{L_{vc\_dist}}{2}}{2}} \left[\left(q_{nom}^{dist}.\rho_e.c_e - \frac{U_{vc\_dist}.\frac{L_{vc\_dist}}{2}}{2}\right).\theta_{d,aval}(h) + U_{vc_{dist}}\frac{L_{vc_{dist}}}{2}.\theta_{amb_{fr}}(h)\right] \quad (1656)$$

Où :

- $\theta_{amb,fr}(h)$ est la température ambiante équivalente utilisée pour le calcul. Elle est évaluée selon la relation usuelle de prise en compte d'un effet tampon entre l'extérieur et l'ambiance chauffée/refroidie considérée à une température fixe de $\theta_{vc,ref,fr}$ = 26°C:

$$\theta_{amb,fr}(\mathrm{h}) = b_{dist}.\ \theta_{vc,ref,fr} + (1 - b_{dist}).\theta_{ext}(\mathrm{h}) \quad (1657)$$

- $q_{ef,nom}^{dist}$ est le débit nominal d'eau froide obtenu par sommation de l'ensemble des débits nominaux des distributions des groupes :

$$q_{nom}^{dist} = \sum_{em} q_{nom}^{em} \quad (1658)$$

A partir du résultat précédent, les pertes thermiques de la portion départ de la distribution intergroupes peuvent être calculées comme suit :

$$\phi_{pertes,d}^{dist}(h) = q_{nom}^{dist}.\rho_e.c_e\left[\theta_{d,aval}(h) - \theta_{d,dist}(h)\right] \quad (1659)$$

8.31.3.3.2 Impact des pertes de distribution du groupe (terminale) et modélisation de l'émetteur en régime nominal

Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Run_Emission** propre à l'ouverture du moteur de calcul partie émission. On calcule d'abord l'impact des pertes de la distribution du groupe (qui est unique dans chaque Geocooling - Emission). La longueur totale de la distribution saisie en paramètre est la somme des longueurs de la portion départ et retour. Ainsi, la température à l'entrée de l'émetteur est calculée de la manière suivante, en considérant la température d'air intérieure comme référence de température ambiante et une longueur de distribution L_{vc} /2 :

$$\theta_{e,nom}^{em}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e + \frac{U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}}{2}}\left[\left(q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e - \frac{U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}}{2}\right).\theta_{d,dist}(h) + U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}.\theta_{\mathrm{i,moy(0;0)}}(\mathrm{h})\right] \quad (1660)$$

A partir du résultat précédent, les pertes thermiques de la portion départ de la distribution du groupe peuvent être calculées comme suit :

$$\phi_{pertes,d}^{em}(h) = q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e\left[\theta_{d,dist}(h) - \theta_{e,nom}^{em}(h)\right] \quad (1661)$$

On suppose la puissance émise par l'émetteur proportionnelle à la différence entre température moyenne d'eau et température ambiante (loi d'émission linéaire de type P = $K_{em,100\%}$. Δθ). C'est une simplification acceptable concernant la majorité des plafonds réversibles, ventilo-convecteurs et batteries à eau.

Pour les ventilo-convecteurs, le coefficient $K_{em,100\%}$ au débit nominal utilisé est celui déterminé selon la norme NF EN 1397 dans l'hypothèse d'une puissance de ventilateur moyenne au sens de la méthode Th-BCE. On suppose également qu'il n'y a pas de phénomène de condensation sur l'émetteur, étant donné que la température d'eau entrant dans l'émetteur en geocooling sera toujours plus élevée que 15 °C (contrainte sur le paramètre $\theta_{d,Geo,nom}$).

On introduit $\theta_{ref}^{em}(h)$ est la température intérieure de référence pour l'échangeur thermique entre l'émetteur et le local, dépendant du ratio convectif dans la puissance émise :

$$\theta_{ref}^{em}(h) = P_{emconv}.\theta_{\mathrm{i,moy(0;0)}}(\mathrm{h}) + (1 - P_{emconv}).\theta_{\mathrm{rm,moy(0;0)}}(\mathrm{h}) \quad (1662)$$

Des valeurs de P_{emconv} par défaut sont définies en fonction du type d'émetteur, en reprenant la même logique que dans la description des émetteurs de refroidissement dans la méthode Th-BCE, « Parts convectives de transmission de l'énergie au groupe». Ces dernières valeurs sont rappelées ci-dessous :

Typologie_Emetteur_Froid	P_{emconv}
Soufflage d'air froid (ventilo-convecteurs…)	0,95
Poutre froide	0,80
Plafonds rafraîchissant, panneaux rafraîchissants de plafond	0,50
Murs rafraîchissants	0,35
Plancher rafraîchissant	0,20

Tableau 256: Parts convectives par défaut de P_{emconv} pour le rafraichissement en fonction de la typologie d'émetteur

Ainsi :

$$\theta_{s,nom}^{em}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e + \frac{K'_{em,100\%}}{2}}\left[\left(q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e - \frac{K'_{em,100\%}}{2}\right).\theta_{e,nom}^{em}(h) + K'_{em,100\%}.\theta_{ref}^{em}(h)\right] \quad (1663)$$

Où $K_{em,100\%}$' est le coefficient d'émission corrigé pour intégrer l'impact des pertes aux dos (W/K) :

$$K_{em,100\%}{}' = \frac{K_{em,100\%}}{1 - P_{per}} \quad (1664)$$

La puissance maximale possiblement émise par le geocooling dans l'ambiance est déduite des températures d'eau aux bornes de l'émetteur, en soustrayant les pertes au dos:

$$\phi_{utile,nom}^{em}(h) = (1 - P_{per}).q_{nom}^{em}.\rho_e.c_e.\left(\theta_{e,nom}^{em}(h) - \theta_{s,nom}^{em}(h)\right) \quad (1665)$$

8.31.3.3.3 Puissance utile effective de la partie émission du geocooling

Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Run_Emission** propre à l'ouverture partie émission.

La puissance utile effectivement émise par le geocooling est le maximum entre la puissance utile et la puissance maximale disponible (toutes deux négatives):

$$\phi_{utile,eff}^{em}(h) = MAX\left(\phi_{utile,nom}^{em}(h); \phi_{crois,raf}(h)\right) \quad (1666)$$

Lorsque le système fonctionne à charge partielle, c'est-à-dire sous sa puissance nominale, on considèrera que la modulation de puissance intervient par variation du débit d'eau froide. Cette variation de débit d'eau froide est supposée sans impact sur la température entrant dans l'émetteur (hypothèse défavorable). En somme, quel que soit le débit d'eau la température d'entrée de l'émetteur est prise égale à $\theta_{e,nom}^{em}(h)$:

$$\theta_{e,eff}^{em}(h) = \theta_{e,nom}^{em}(h) \quad (1667)$$

A partir de cette hypothèse on calcule l'ensemble des variables restantes permettant de caractériser le réseau de distribution :

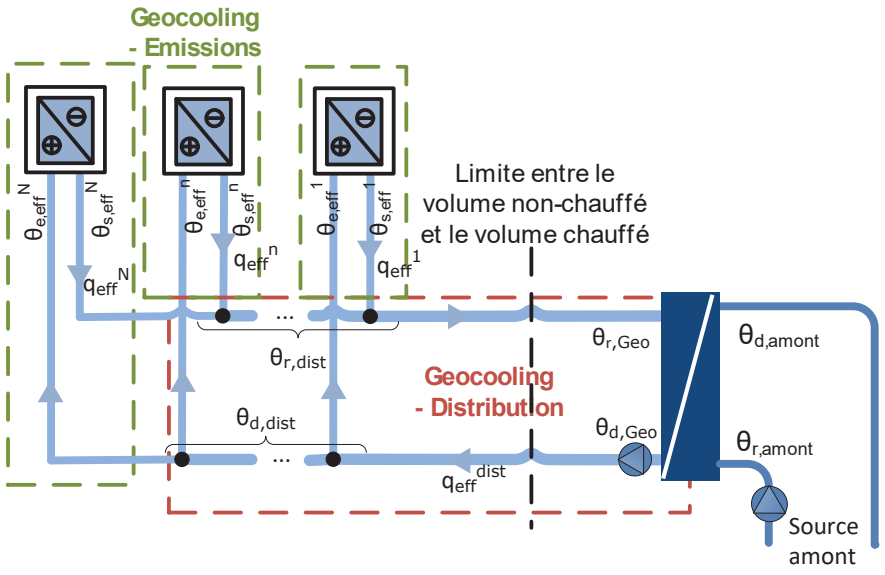


Figure **176** : variables de représentation du réseau de distribution en conditions effectives (avec échangeur intermédiaire)

Afin d'estimer le débit d'eau effectif moyen sur l'heure ainsi que la température de sortie de l'émetteur, on calcule la puissance utile correspondant à un débit d'eau froide égal à 30% du débit d'eau nominal, de la même manière que la puissance de rafraichissement nominale a été calculée :

$$\theta_{s,30\%}^{em}(h) = \frac{1}{0{,}3.\, q_{nom}^{em}.\, \rho_e.\, c_e + \frac{K'_{em,30\%}}{2}} \left[\left(0{,}3.\, q_{nom}^{em}.\, \rho_e.\, c_e - \frac{K'_{em,30\%}}{2} \right). \theta_{e,nom}^{em}(h) + K'_{em,30\%}.\, \theta_{ref}^{em}(h) \right] \quad (1668)$$

$$\phi_{utile,30\%}^{em} = \left(1 - P_{per}\right). 0{,}3.\, q_{nom}^{em}.\, \rho_e.\, c_e. \left(\theta_{e,nom}^{em}(h) - \theta_{s,30\%}^{em}(h) \right) \quad (1669)$$

Avec $K_{em,30\%}$' est le coefficient d'émission corrigé pour intégrer l'impact des pertes aux dos (W/K) :

$$K_{em,30\%}{}' = \frac{K_{em,30\%}}{1 - P_{per}} \quad (1670)$$

Le débit d'eau froide effectif est déterminé en supposant une relation linéaire par morceau entre la puissance utile de rafraichissement et le débit traversant l'émetteur :

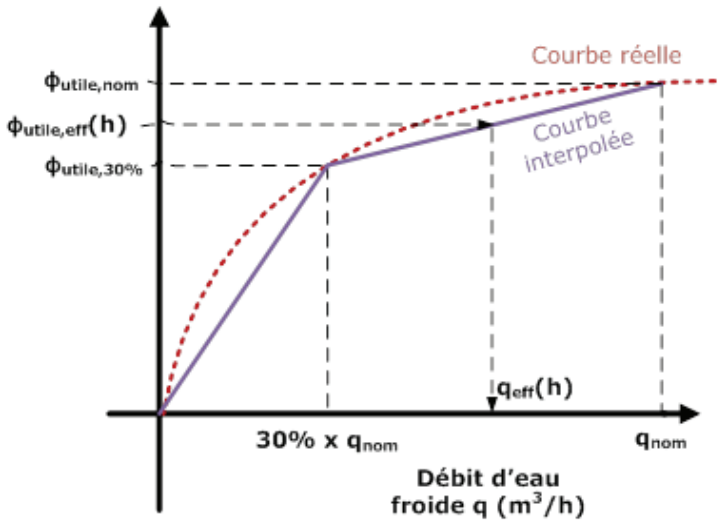


Figure 177 : relation entre puissance utile de rafraichissement (W) et débit d'eau froide (m^3/h)

Ainsi, en termes algorithmiques :

Si $\left|\phi_{utile,eff}^{em}(h)\right| > \left|\phi_{utile,30\%}^{em}(h)\right|$, alors :

$$q_{eff}^{em}(h) = \left(\left| \frac{\phi_{utile,eff}^{em}(h) - \phi_{utile,30\%}^{em}(h)}{\phi_{utile,nom}^{em}(h) - \phi_{utile,30\%}^{em}(h)} \right|. 0{,}7 + 0{,}3 \right). q_{nom}^{em} \quad (1671)$$

Sinon,

$$q_{eff}^{em}(h) = \left| \frac{\phi_{utile,eff}^{em}(h)}{\phi_{utile,nom}^{em}(h)} \right|. 0{,}3.\, q_{nom}^{em} \quad (1672)$$

Au final, on en déduit la température de sortie d'eau effective de l'émission de geocooling :

$$\theta_{s,eff}^{em}(h) = \theta_{e,nom}^{em}(h) - \frac{\phi_{utile,eff}^{em}(h)}{q_{eff}^{em}(h).\, \rho_e.\, c_e} \quad (1673)$$

$\theta_{s,eff}^{em}(h)$ est nécessairement supérieure à $\theta_{e,nom}^{em}(h)$.

A partir de là, la température retour de la distribution du groupe est calculée de la manière suivante, en considérant la température d'air intérieure comme référence de température ambiante : (1674)

$$\theta_{r,dist}^{em}(h) = \frac{1}{q_{eff}^{em}(h).\rho_e.c_e + \frac{U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}}{2}}\left[\left(q_{eff}^{em}(h).\rho_e.c_e - \frac{U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}}{2}\right).\theta_{s,eff}^{em}(h) + U_{vc}.\frac{L_{vc}}{2}.\theta_{i,moy(0;0)}(h)\right]$$

Et on en déduit les pertes thermiques de la portion retour du réseau de distribution du groupe :

$$\phi_{pertes,r}^{em}(h) = q_{eff}^{em}(h).\rho_e.c_e\left[\theta_{r,dist}^{em}(h) - \theta_{s,eff}^{em}(h)\right] \quad (1675)$$

8.31.3.4 *Détermination des consommations électriques effectives d'émission et des pertes thermiques de distribution*

8.31.3.4.1 Calcul des consommations de ventilateurs locaux

Ce paragraphe ne concerne que le cas où les émetteurs terminaux utilisés incluent des ventilateurs locaux (ventilo-convecteurs).

Dans ce cas, lorsque le geocooling est activé au niveau d'une émission ($\phi_{utile,eff}^{em}(h)$ < 0 W), par cohérence avec l'hypothèse prise sur le coefficient K_{em} de l'émetteur, on considèrera que le ventilo-convecteurs fonctionne à vitesse constante égale à la vitesse moyenne. Sinon, on prendra en compte la consommation de ventilo-convecteurs en mode veille, qui doit inclure l'éventuelle consommation associée au maintien d'un débit d'air minimal le cas échéant.

Si $\phi_{utile,eff}^{em}(h)$< 0 W, alors :

$$W_{aux,vent}^{em}(h) = P_{VCV,MV}^{em} \quad (1676)$$

Sinon,

$$W_{aux,vent}^{em}(h) = P_{VCV,veille}^{em} \quad (1677)$$

8.31.3.4.2 Seconde partie du calcul des pertes de distribution intergroupes : calcul des pertes thermiques de la portion retour

Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Run_Distribution** propre à l'ouverture du moteur partie génération.

On introduit le débit d'eau effectif total du réseau de distributions intergroupes :

$$q_{eff}^{dist}(h) = \sum_{em} q_{eff}^{em}(h) \quad (1678)$$

La température d'eau en entrée de la portion retour de la distribution intergroupe est égale à la moyenne des températures retour pondérées par les débits massiques des distributions du groupe :

$$\theta_{r,dist}(h) = \frac{\sum_{em}\left(q_{eff}^{em}(h).\theta_{s,eff}^{em}(h)\right)}{q_{eff}^{dist}(h)} \quad (1679)$$

Si $q_{eff}^{dist}(h)$ est nul, on fixe $\theta_{r,dist}(h) = \theta_{d,dist}(h)$.

Enfin, la température $\theta_{r,aval}(h)$ est obtenue par la même méthode que celle utilisée au 8.31.3.3.1 :

$$\theta_{r,aval}(h) = \frac{1}{q_{eff}^{dist}(h).\rho_e.c_e + \frac{U_{vc,Lmax}.L_{max}}{2}}\left[\left(q_{eff}^{dist}(h).\rho_e.c_e - \frac{U_{vc,Lmax}.L_{max}}{2}\right).\theta_{r,dist}(h) + U_{vc,Lmax}.L_{max}.\theta_{amb_{fr}}(h)\right] \quad (1680)$$

Dans le cas où un échangeur intermédiaire est présent dans l'installation, cette température correspond à la température de retour d'eau au niveau de cet échangeur.

Dans le cas contraire, cette température correspond à la température $\theta_{r,Geo}(h)$, qui elle-même est égale à la température $\theta_{d,amont}(h)$ vu qu'il n'y a pas d'échangeur (voir figure 2).

Pour rappel, $\theta_{amb,fr}(h)$ est calculée selon la relation (1658).

On en déduit les pertes thermiques sur la portion retour de la distribution intergroupes :

$$\phi_{pertes,r}^{dist}(h) = q_{eff}^{dist}(h).\rho_e.c_e\left[\theta_{r,aval}(h) - \theta_{r,dist}(h)\right] \quad (1681)$$

8.31.3.5 *Consommation d'énergie et rejet thermique à la source amont*

Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Run_Distribution** propre à l'ouverture du moteur partie Geocooling - Distribution.

8.31.3.5.1 Quantité d'énergie effective totale à fournir par l'installation de geocooling

La quantité d'énergie nominale à fournir par l'échangeur de geocooling est calculée à partir des températures départ et retour déterminées à partir du bilan de la boucle de distribution du geocooling à pleine charge d'utilisation (voir équations (1654)) :

$$Q_{geo,eff}(h) = q_{eff}^{dist}(h).\rho_e.c_e\left[\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval}(h)\right] \quad (1682)$$

Dans le cas où il n'y a pas d'échangeur, cette quantité d'énergie est calculée de la même manière mais elle ne sera pas utilisée.

8.31.3.5.2 Consommation électrique du circulateur de distribution de l'installation de geocooling

La prise en compte du circulateur de distribution de l'installation de geocooling est identique à celle des réseaux de distribution de refroidissement prévue dans la méthode Th-BCE. Elle identifie trois typologies de prise en compte selon la nature du circulateur et son pilotage :

Si id_{circ} =1(circulateurs à vitesse constante), alors,

$$W_{circ}^{dist}(h) = P_{circ,nom} \quad (1683)$$

Si id_{circ} =2 (circulateurs à vitesse variable et du réseau à une pression différentielle constante),

$$W_{circ}^{dist}(h) = \left(\frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}}\right)^{2/3}.P_{circ,nom} \quad (1684)$$

Si id_{circ} =3 (circulateurs à vitesse variable et variation de la pression différentielle du réseau),

$$W_{circ}^{dist}(h) = \left(0{,}5.\frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}} + 0{,}5.\left(\frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}}\right)^{2}\right)^{2/3}.P_{circ,nom} \quad (1685)$$

Où q_{nom}^{dist} est calculé selon l'équation (1658).

Dans le cas d'une installation de geocooling avec un circulateur à vitesse constante, le débit d'eau froide reste néanmoins variable dans l'installation, ce qui sous-entend la présence d'un bypass à débit variable des émetteurs.

8.31.3.5.3 Pertes thermiques récupérables par groupe

Les pertes thermiques récupérables $\Phi_{pertes,vc}^{em}(h)$ pour chaque Geocooling - Emission sont

calculées comme suit, en répartissant les pertes « intergroupes » au prorata des débits d'eau froide :

$$\Phi^{em}_{pertes,vc}(h) = W^{em}_{aux,vent}(h) + \phi^{em}_{pertes,d}(h) + \phi^{em}_{pertes,r}(h) + \text{Part}_{\text{recup\_intgr}} \cdot \frac{q^{em}_{eff}(h)}{q^{dist}_{eff}(h)} \cdot \left(\phi^{dist}_{pertes,d}(h) + \phi^{dist}_{pertes,r}(h)\right) \quad (1686)$$

Où $\text{Part}_{\text{recup\_intgr}}$ est la part récupérable des pertes thermiques vers l'ambiance rafraichi des distributions intergroupes de geocooling, prise conventionnellement égale à 60%.

Si $q^{dist}_{eff}(h)$ est nul, ces pertes récupérables n'incluent que la contribution des ventilateurs locaux :

$$\Phi^{em}_{pertes,vc}(h) = W^{em}_{aux,vent}(h) \quad (1687)$$

A noter qu'à l'instar de l'hypothèse faite dans la méthode Th-BCE, §8.10.3.3.2 pour les distributions intergroupes de refroidissement, les consommations de circulateur sont considérées non-récupérables.

$\Phi_{\text{pertes,vc}}^{\text{em}}(h)$ vient s'ajouter aux pertes et consommations électriques récupérables prévues au chapitre 11.1 de la méthode Th-BCE pour le groupe contenant l'émission du geocooling, conformément aux spécifications de l'ouverture relative au rafraichissement.

8.31.3.5.4 Calcul des données de sortie pour la modélisation de la source amont géothermique

La quantité d'énergie rejetée à la source est égale à l'énergie envoyée sur le réseau de distribution :

$$\Phi_{rejet,geo}(h) = Q_{geo,eff}(h) \quad (1688)$$

8.31.3.5.4.1 Cas où l'échangeur intermédiaire est présent dans l'installation de géocooling

Soient $\varepsilon_{\text{geo}}(h)$ l'efficacité de l'échangeur de geocooling, et $\theta_{\text{r,amont}}(h)$ la température retour de la source amont calculée dans l'équation (1653).

L'efficacité de l'échangeur est calculée selon la méthode utilisée pour les échangeurs intermédiaires des sources amont de type « captage de type nappe avec échangeur », déifnie au chapitre Générateurs sur fluide amont eau ($\text{id}_{\text{fluide-amont}}^{\text{gnr}}=1$) de la méthode Th-BCE, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

On caractérise l'échangeur de geocooling en partant du principe que le débit d'eau côté source est fixé à sa valeur nominale. Bien que le débit côté distribution, $q^{dist}_{eff}(h)$, puisse varier, on fera l'hypothèque que le coefficient d'échange UA_{nom} reste applicable. Par ailleurs, on considèrera que les constantes physiques du fluide côté source sont celles de l'eau sans additif (type glycol).

$$NUT(h) = \frac{3600.UA_{geo,nom}}{\rho_e.c_e.MIN(q^{dist}_{eff}(h); \text{q}_{\text{nom,geo}})} \quad (1689)$$

On détermine le coefficient de déséquilibre de l'échange thermique :

$$C(h) = \frac{MIN(\text{q}_{\text{nom,geo}}; q^{dist}_{eff}(h))}{MAX(\text{q}_{\text{nom,geo}}; q^{dist}_{eff}(h))} \quad (1690)$$

Si C (h) = 1 (transfert thermique à débits équilibrés), alors,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h)+1} \quad (1691)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-C(h))}}{1 - C(h).e^{-NUT(h).(1-C(h))}} \quad (1692)$$

On en déduit la température $\theta_{d,aval,pc}(h)$ correspondant à un fonctionnement à débit d'eau côté source fixé à sa valeur nominale :

$$\theta_{d,aval,pc}(h) = \theta_{r,aval}(h) + \varepsilon_{geo}(h).\frac{MIN(q_{nom,geo}; q_{eff}^{dist}(h))}{q_{eff}^{dist}(h)}.\left(\theta_{r,aval}(h) - \theta_{r,amont}(h)\right) \quad (1693)$$

La puissance nominale équivalente de l'échangeur de geocooling à communiquer à la source amont géothermique est calculée de la manière suivante :

$$P_{n,geo}(h) = q_{eff}^{dist}(h).\rho_e.c_e.\left(\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval,pc}(h)\right) \quad (1694)$$

$P_{n,geo}(h)$ est nécessairement positive ou nulle.

Le taux de charge équivalent de l'échangeur de geocooling peut être estimé de la façon suivante :

$$\tau_{charge,geo}(h) = MIN\left(1; \left|\frac{\Phi_{rejet,geo}(h)}{P_{n,geo}(h)}\right|\right) \quad (1695)$$

Si $P_{n,geo}(h)$ est nulle, alors $\tau_{charge,geo}(h) = 0\%$.

8.31.3.5.4.2 Cas où l'échangeur intermédiaire est absent de l'installation de géocooling

Il n'y a pas d'échangeur intermédiaire entre le circuit des capteurs géothermiques et celui du réseau d'eau du bâtiment, il n'est donc pas nécessaire de modéliser celui-ci et par conséquent de réaliser les calculs présents dans le paragraphe précédent.

Dans ce cas, en ce qui concerne les derniers nœuds de température à déterminer, nous avons uniquement les relations suivantes :

$$\theta_{d,aval,pc}(h) = \theta_{d,Geo}(h) = \theta_{r,amont}(h) \quad (1696)$$

$$\theta_{r,aval}(h) = \theta_{r,Geo}(h) = \theta_{d,amont}(h) \quad (1697)$$

8.31.3.5.5 Consommation électrique totale des circulateurs de l'installation de geocooling

Ce calcul est intégré dans la fonction d'appel **Termine** propre à l'ouverture du moteur partie génération.

La consommation électrique totale des circulateurs de l'installation de geocooling est la somme de celle du circulateur de distribution $W_{circ}^{dist}(h)$ et du circulateur de la source amont géothermique $W_{aux,am}(h)$. Cette consommation est répartie dans chaque composant Geocooling – Emission, afin d'être ajoutée directement aux consommations d'auxiliaires du groupe contenant ce composant.

La répartition se fait au prorata des débits d'eau froide effectifs de chaque émission :

$$W_{aux,dis}^{em}(h) = \frac{q_{eff}^{em}(h)}{q_{eff}^{dist}(h)}.\left(W_{circ}^{dist}(h) + W_{aux,am}(h)\right) \quad (1698)$$

Dans le cas où $q_{eff}^{dist}(h)$ est nul, la répartition se fait au prorata des débits d'eau froide nominaux de

chaque émission :

$$W_{aux,dis}^{em}(h) = \frac{q_{nom}^{em}}{q_{nom}^{dist}} . \left(W_{circ}^{dist}(h) + W_{aux,am}(h)\right) \quad (1699)$$

8.32 C_BAT_Fonctionnement/gestion/régulation des brasseurs d'air

8.32.1 INTRODUCTION

La modélisation des brasseurs d'air sera réalisée en tenant compte des hypothèses suivantes :

- Un composant brasseur d'air est créé pour chaque type de brasseur d'air.
- Un seul type de brasseur d'air admis pour une même pièce cloisonnée
- La vitesse de l'air dans une zone couverte par des brasseurs d'un certain type est directement proportionnelle au taux de brassage dans cette zone.
- Le modèle utilisé est valable pour des hauteurs sous plafond inférieures à 3m.
- Pour des brasseurs d'un même type, on applique la même gestion/régulation ne sachant pas l'emplacement exact de l'occupant.
- La surface maximale desservie par un brasseur d'air est de 15 m².
- Le fonctionnement des brasseurs d'air n'est possible qu'en période refroidissement.

La modélisation de la gestion/régulation des brasseurs d'air est réalisée selon la température ressentie par les occupants, ou perçue par la sonde du système de régulation. Le débit brassé peut être égal à trois valeurs différentes (0, $Qv_{air\_br\_p\_int}$ et $Qv_{air\_br\_p\_max}$). Le profil choisit pour le choix du débit en fonction de $\theta_{op,fin}$ est un profil à hystérésis en deux paliers basé sur 4 paramètres $\theta_{op\_dec\_br}$, $\Delta\theta_{op\_1\_br}$, $\Delta\theta_{op\_2\_br}$ et $\Delta\theta_{op\_3\_br}$ (voir **Figure 178**).

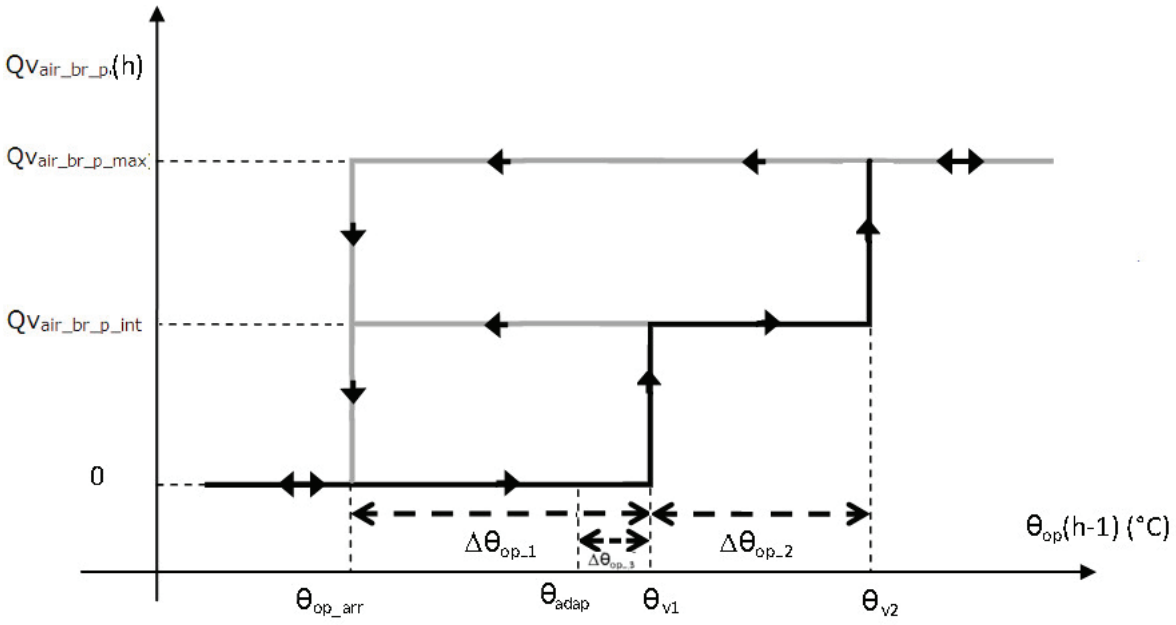


Figure 178 : Débit brassé en fonction de la température opérative intérieure au pas de temps précédent

8.32.2 NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul. Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
	$h_{légale}$	Heure légale au pas de temps h.	h			
	$Aut\_fr\_pro^{gr}(h)$	Autorisation de refroidissement propre au groupe, délimitant la période été	Bool			
	θ_i (h)	Température de l'air intérieur du groupe considéré, au pas de temps h.	°C			
	θ_{rm} (h)	Température radiante moyenne du groupe considéré, au pas de temps h.	°C			
	θ_{lifr}^{+}(h)	Température de consigne de refroidissement en période d'occupation	°C			
	$\Delta\theta_{conf\_adapt}$(h)	Ecart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne de refroidissement en occupation (lié à la notion de confort adaptatif)	°C			
Zone	$Type\_Usage^{Z}$	Type d'usage de la zone	Entier			
Zone	i_{occ_zone}(h)	Indicateur d'occupation au temps h : vrai : zone en occupation faux : zone en inoccupation	Entier			
Zone	θ_{lifr}^{+}(h)	Température de consigne de refroidissement en période d'occupation	°C			
Zone	Agr	Surface du groupe	m2			
Zone	Vol	Volume du groupe.	m3			
Zone	$\theta_{op,fin}$ (h-1)	Température intérieure opérative du groupe considéré à la fin du pas de temps h-1.	°C			
Zone	$\theta_{op,fin}$ (h-2)	Température intérieure opérative du groupe considéré à la fin du pas de temps h-2.	°C			
Groupe	$categorie\_CE1\_CE2^{gr}$	Catégorie CE1 ou CE2 du groupe (1=CE1 / 2=CE2)	-	1	2	
Groupe	$Is_{climatise}^{gr}$	Indicateur au niveau du groupe précisant si le groupe est climatisé ou non (0=non climatisé / 1=climatisé)	-	0	1	

Sorties du composant

	Nom	Description	Unité
	$\Delta\theta_{op}^{BA\_p}$(h)	Impact sur la température opérative dû aux brasseurs d'air.	°C
	$W_{abs\text{-}BA\text{-}p}$(h)	Consommation électrique de l'ensemble de brasseurs d'air de type p au pas de temps h	Wh
	$W_{abs\text{-}BA}^{gr}$(h)	Consommation électrique de l'ensemble de brasseurs d'air du groupe au pas de temps h	Wh
	$\Phi_{th\text{-}BA\text{-}vc\text{-}p}$(h)	Flux de chaleur vers l'ambiance associé à la consommation électrique des brasseurs d'air de type p au pas de temps h	Wh
	$\Phi_{th\text{-}BA\text{-}vc}^{gr}$(h)	Flux de chaleur vers l'ambiance associé à la consommation électrique de l'ensemble des brasseurs d'air du groupe au pas de temps h	Wh

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Gestion - régulation	p	Type de brasseur.	Entier	0	+∞	
	N_{br_p}	Nombre de brasseurs de type p.	Entier	0	+∞	
	Rat_{br_p}	Ratio de surface utile des pièces cloisonnées couvertes par les brasseurs de type p.	Réel	0	1	
	$Rat_{Us\_BA\_p}$	Ratio de surface utile des pièces occupées pour un usage jour/nuit donné (identique quel que soit le type de brasseur d'un même type d'usage)	Réel	0	1	
	Us_p	Type d'usage pour les brasseurs de type p (Jour/Nuit/Jour et nuit).	Entier	0	1	
	mode_gestion_br_p	Paramètre de définition du mode de gestion des brasseurs de type p	Entier	1	3	
	$\Delta\theta_{op\_1\_br\_p\_th\_aut}$ $\Delta\theta_{op\_2\_br\_p\_th\_aut}$ $\Delta\theta_{op\_3\_br\_p\_th\_aut}$	Paramètres de base de l'hystérésis en gestion automatique avec thermostats pour les brasseurs de type p.	°C	0	+∞	
	$\Delta\theta_{op\_1\_br\_p\_aut}$ $\Delta\theta_{op\_2\_br\_p\_aut}$ $\Delta\theta_{op\_3\_br\_p\_aut}$	Paramètres de base de l'hystérésis en gestion automatique pour les brasseurs de type p.	°C	0	+∞	
	$\theta_{op\_dec\_br\_p\_aut}$	Température de déclenchement des brasseurs d'air de type p en gestion automatique.	°C	0	+∞	

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$type\_P_{elec\_br\_p\_max}$	Caractère certifié/justifié/déclaré de la puissance maximale d'un brasseur d'air de type p	-	-	-	
$P_{elec\_br\_p\_max}$	Puissance électrique individuelle maximale certifiée,justifiée ou déclarée d'un brasseur d'air de type p.	W	0	+∞	
$P_{elec\_br\_p\_max\_corr}$	Puissance électrique individuelle maximale corrigée d'un brasseur d'air de type p.	W	0	+∞	
$type\_Qv_{air\_br\_p\_max}$	Caractère certifié/justifié/déclaré du débit volumique maximal d'un brasseur d'air de type p	-	-	-	
$Qv_{air\_br\_p\_max}$	Débit volumique individuel maximal certifié, justifié ou déclaré ~~l~~d'un brasseur d'air de type p.	m3/h	0	+∞	
$Qv_{air\_br\_p\_max\_corr}$	Débit volumique individuel maximal corrigé-d'un brasseur d'air de type p.	m3/h	0	+∞	

Variables internes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$P_{elec\_br\_p}(h)$	Puissance électrique d'un brasseur de type p, au pas de temps h.	W			
$Qv_{air\_br\_p}(h)$	Débit volumique d'un brasseur de type p, au pas de temps h.	m3/h			

	$Qv_{air\_br\_p\_tot}(h)$	Débit volumique d'un brasseur de type p équivalent, au pas de temps h.	m3/h			
	$\tau_{br\_p}(h)$	Taux de brassage rapporté au brasseur de type p équivalent, au pas de temps h.	vol/h			
	$v_{br\_p}(h)$	Vitesse moyenne dans la zone couverte par l'ensemble des brasseurs d'air de type p, au pas de temps h.	m/s			
	$\Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)$	Impact sur la température opérative dû aux brasseurs d'air de type p, au pas de temps h.	°C			
	$\Delta\theta_{op}^{BA\_jour}(h)$	Impact sur la température opérative dû aux brasseurs d'air en usage jour, au pas de temps h.	°C			
	$\Delta\theta_{op}^{BA\_nuit}(h)$	Impact sur la température opérative dû aux brasseurs d'air en usage nuit, au pas de temps h.	°C			
Gestion manuelle	$\Delta\theta_{op\_1\_br\_man}$ $\Delta\theta_{op\_2\_br\_man}$ $\Delta\theta_{op\ 3\ br\ man}$	Paramètres de base de l'hystérésis en gestion manuelle.	°C	0	+∞	Voir le tableau 2
	$\theta_{op\_dec\_br\_man}$	Température de déclenchement des brasseurs d'air en gestion manuelle.	°C	0	+∞	
	$\theta_{op\_dec\_br\_man}$	Température de déclenchement des brasseurs d'air en gestion manuelle.	°C	0	+∞	
	$\theta_{op\_dec\_br\_p\_th\_aut}$	Température de déclenchement des brasseurs d'air de type p en gestion automatique avec thermostats.	°C	0	+∞	
	θ_{V1_man}, θ_{V2_man}, $\theta_{arr\ man}$	Températures de consigne de l'hystérésis de gestion en manuel.	°C	0	+∞	-
	θ_{V1_aut}, θ_{V2_aut}, $\theta_{arr\ aut}$	Températures de consigne de l'hystérésis de gestion en manuel.	°C	0	+∞	-

Constantes

Nom	Description	Unité	
$\{Coef_{ep(énergie\ ;1)}\}$	Matrice des coefficients d'énergie primaire associés aux différents types d'énergie.	Réel	-

Tableau 257 : Nomenclature du modèle

8.32.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.32.3.1 ***Conditions de prises en compte***

Les brasseurs d'air ne peuvent être introduits que dans des groupes non-climatisés ($Is_{climatise}^{gr}$ = 0). Ils sont modélisés dans les modes Th-D et Th-C.

En mode Th-D, on considère leur utilisation possible durant l'ensemble de la période de confort adaptatif ($Is_{\_confort\_adaptatif}(h)$ = 1).
En mode Th-C, leur utilisation est restreinte à la période de refroidissement du groupe ($Aut_{,fr\text{-}pro}$ = 1).

8.32.3.2 ***Paramètres d'intégration et intrinsèques***

8.32.3.2.1 Définition d'un type p de brasseur d'air

Les brasseurs d'air de type p sont définis par plusieurs paramètres qui sont les suivants :

- leur puissance électrique individuelle maximale certifiée, justifiée ou déclarée, $P_{elec\_br\_p\_max}$. Un coefficient correctif de 1.2 sera appliqué en cas de valeur déclarée et 1.1 en cas de valeur justifiée. La valeur corrigée vaut donc :

  Si type_ $P_{elec\_br\_p\_max}$ = valeur certifiée
  $$P_{elec\ br\ p\ \max corr} = P_{elec\ br\ p\ max}$$
  Sinon si type_ $P_{elec\_br\_p\_max}$ = valeur justifiée
  $$P_{elec\ br\ p\ \max corr} = 1{,}1 \times P_{elec\ br\ p\ max}$$
  Sinon
  $$P_{elec\ br\ p\ \max corr} = 1{,}2 \times P_{elec\ br\ p\ max}$$

- leur puissance électrique individuelle intermédiaire $P_{elec\_br\_p\_int}$, calculée comme étant égale à 60% de la puissance électrique maximale corrigée

$$P_{elec\ br\ p\ int} = 0{,}6 \times P_{elec\ br\ p\ \max corr}$$

- leur débit volumique horaire individuel maximal certifié, justifié ou déclaré $Qv_{air\_br\_p\_max}$. Un coefficient correctif de 0.8 sera appliqué en cas de valeur déclarée et de 0.9 en cas de valeur justifiée. La valeur corrigée vaut donc :

  Si type_ $Qv_{air\_br\_p\_max}$ = valeur certifiée
  $$Qv_{air\ br\ p\ \max corr} = Qv_{air\ br\ p\ max}$$
  Sinon Si type_ $Qv_{air\_br\_p\_max}$ = valeur justifiée
  $$Qv_{air\ br\ p\ \max corr} = 0{,}9 \times Qv_{air\ br\ p\ max}$$
  Sinon
  $$Qv_{air\ br\ p\ \max corr} = 0{,}8 \times Qv_{air\ br\ p\ max}$$

- leur débit volumique horaire individuel intermédiaire $Qv_{air\_br\_p\_int}$ calculé comme étant égal à 60% du débit maximal corrigé

$$Qv_{air\ br\ p\ int} = 0{,}6 \times Qv_{air\ br\ p\ \max corr}$$

- leur nombre N_{br_p},

- le pourcentage de la surface utile du groupe des pièces cloisonnées qu'ils desservent Rat_{br_p} avec une limite de 15 m² par brasseur de type p,

- leur type d'usage (Jour/Nuit) Us_p
- le ratio de surface associé à chacun de ces modes $Rat_{Us\_BA\_p}$ et leur mode de gestion *mode_gestion_br_p*.

8.32.3.2.2 Définition de l'usage (Jour/Nuit)

L'usage est défini au niveau de chaque type p de brasseurs d'air. La variable Us_p peut prendre les valeurs suivantes:

- **0** : défini l'usage nuit pour les brasseurs de type p,
- **1** : défini l'usage jour pour les brasseurs de type p.
- **2** : défini l'usage jour et nuit pour les brasseurs de type p (uniquement pour les locaux ne distinguant pas les espaces « jours » des espaces « nuit »

Remarque : Dans le cas particulier des locaux ne distinguant pas les espaces « jour » des espaces « nuit » (typiquement studio, petits appartements etc.) et pour lequel des brasseurs d'usage « jour et nuit » sont définis, si un brasseur d'un autre usage est également défini, une erreur apparait.

8.32.3.2.3 Définition des ratios de surface

Deux ratios de surfaces sont utilisés dans le modèle.

- **Ratio de surface occupée d'un usage jour/nuit donné ($Rat_{Us\_BA\_p}$)**

$Rat_{Us\_BA\_p}$ a pour but de quantifier les surfaces du groupe occupées en fonction du type d'usage jour/nuit du brasseur d'air concerné. Cette valeur est identique pour tous les brasseurs d'un même type d'usage jour/nuit.

Les valeurs du Tableau 258 sont utilisées en fonction de la typologie de la zone concernée. Elles ont été définies conformément aux scénarios d'occupation conventionnels.

N° d'usage	Type d'usage associé	Us=Jour	Us=Nuit
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	0.6	0.4
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	0.54	0.36
4	Enseignement primaire	0.85	0
5	Enseignement secondaire (partie jour)	0.75	0
16	Bureaux	0.7	0

Tableau 258 : Rat_Us par défaut en fonction de la typologie de la zone et de l'usage jour/nuit des brasseurs

Remarque : Dans le cas particulier des locaux ne distinguant pas les espaces « jour » des espaces « nuit » (typiquement studio, petits appartements etc) et pour lequel des brasseurs d'usage « jour et nuit » sont définis, le ratio vaut :

Si Usp = 2 (jour et nuit)

$Rat_{Us\_BA\_p} = 1$

- **Ratio de surface brassée Rat_{br_p}:**

Rat_{br_p} a pour but de définir la surface impactée par les brasseurs d'air. C'est cette surface qui est utilisée pour quantifier la vitesse de l'air mis en mouvement. L'utilisateur fournit pour chaque

brasseur de type p, la surface des pièces fermées dans lesquelles ils sont installés. Seules les pièces appartenant aux locaux occupés tels que définis dans le Tableau 258 sont concernées.

On estime que pour un brasseur d'air de type p, la surface unitaire impactée ne peut être supérieure à 15 m^2. Dès lors le ratio de surface total est limité par :

$$Rat_{br\_p} = min\left(\frac{15 * N_{br\_p}}{A_{gr}}; Rat_{br\_p}\right)$$

Un test de cohérence sur la valeur fournie par l'utilisateur permet de s'assurer que la surface totale couverte par les brasseurs d'une activité jour/nuit donnée ne peut être supérieure à la surface occupée par l'activité en question. Ainsi :

$$\sum_{\forall p.\therefore Us_p=0} Rat_{br\_p} < MIN\left[Rat_{Us\_BA\_p}\big|_{\forall p\ Us_p=0}\right]$$

Et

$$\sum_{\forall p.\therefore Us_p=1} Rat_{br\_p} < MIN\left[Rat_{Us\_BA\_p}\big|_{\forall p\ Us_p=1}\right]$$

Et

$$\sum_{\forall p.\therefore Us_p=2} Rat_{br\_p} < MIN\left[Rat_{Us\_BA\_p}\big|_{\forall p\ Us_p=2}\right]$$

Si ce test n'est pas respecté, une erreur apparait.

8.32.3.2.4 Définition du mode de gestion

Les modes de gestion de la vitesse sont définis au niveau de chaque type p de brasseurs d'air. La variable *mode_gestion_br_p* peut prendre les valeurs suivantes :

- **1** : gestion manuelle de la vitesse (par les occupants).
- **2** : gestion automatique de la vitesse avec thermostats.
- **3** : gestion toute automatique de la vitesse.

8.32.3.2.4.1 Paramètres en gestion manuelle

Les températures de consigne permettant la modélisation des actions des occupants vis-à-vis de la régulation de la vitesse des brasseurs d'air sont intégralement conventionnelles.

Les valeurs permettant la définition des températures de consigne sont définies conventionnellement dans le tableau 4. Elles sont les mêmes pour tous les usages.

Paramètres	Valeurs conventionnelles en usage jour	Valeurs conventionnelles en usage nuit
$\Delta\theta_{op\_1\_br\_man}$	2°C	2°C
$\Delta\theta_{op\_2\_br\_man}$	4°C	4°C
$\Delta\theta_{op\_3\_br\_man}$	1°C	

Tableau 259: Paramètres conventionnels de consigne en gestion manuelle

La valeur de $\theta_{op\_dec\_br\_man}$ est modifiée à chaque pas de temps :

$$\theta_{op\_dec\_br\_man}(h) = \theta_{iifr}^{+}(h)+\Delta\theta_{conf\_adapt}(h) + \Delta\theta_{op\_3\_br\_man} \quad (1700)$$

8.32.3.2.4.2 Paramètres en gestion automatique avec thermostats

Les paramètres de consigne en gestion automatique sont définis au niveau de chaque type p de brasseurs d'air.

Ces valeurs dépendent des paramètres de régulation utilisés dans le système automatique. L'utilisateur doit utiliser ses propres valeurs de consigne $\Delta\theta_{op\_1\_br\_p\_th\_aut}$, $\Delta\theta_{op\_2\_br\_p\_th\_aut}$ et $\Delta\theta_{op\_3\_br\_th\_aut}$.

La valeur de $\theta_{op\_dec\_br\_p\_th\_aut}$ est modifiée à chaque pas de temps :

$$\theta_{op\_dec\_br\_th\_aut}(h) = \theta_{iifr}^{+}(h)+\Delta\theta_{conf\_adapt}(h) + \Delta\theta_{op\_3\_br\_th\_aut} \quad (1701)$$

8.32.3.2.4.3 Paramètres en gestion toute automatique

Les paramètres de consigne en gestion automatique sont définis au niveau de chaque type p de brasseurs d'air.

Ces valeurs dépendent des paramètres de régulation utilisés dans le système automatique. L'utilisateur doit utiliser ses propres valeurs de consigne $\Delta\theta_{op\_1\_br\_p\_aut}$, $\Delta\theta_{op\_2\_br\_p\_aut}$, $\Delta\theta_{op\_3\_br\_p\_aut}$ (0 par défaut) et $\theta_{op\_dec\_br\_p\_aut}$.

8.32.3.3 ***Détermination de la vitesse d'un type p de brasseur d'air***

8.32.3.3.1 Détermination des températures de consigne

Les trois températures θ_{V1}, θ_{V2} et θ_{arr} doivent être calculées en fonction des données d'intégration $\Delta\theta_{op\_1\_br}$, $\Delta\theta_{op\_2\_br}$ et $\theta_{op\_dec\_br}$.

Pour une gestion manuelle :

$$\begin{aligned}
\theta_{V1_man}(h) &= \theta_{op_dec_br_man}(h) \\
\theta_{V2_man}(h) &= \theta_{op_dec_br_man}(h) + \Delta\theta_{op_2_br_man} \\
\theta_{arr_man}(h) &= \theta_{op_dec_br_man}(h) - \Delta\theta_{op_1_br_man}
\end{aligned} \quad (1702)$$

Pour une gestion automatique avec thermostat:

$$\begin{aligned}
\theta_{V1_th_aut}(h) &= \theta_{op_dec_br_p_th_aut}(h) \\
\theta_{V2_th_aut}(h) &= \theta_{op_dec_br_p_th_aut}(h) + \Delta\theta_{op_2_br_p_th_aut} \\
\theta_{arr_th_aut}(h) &= \theta_{op_dec_br_p_th_aut}(h) - \Delta\theta_{op_1_br_p_th_aut}
\end{aligned} \quad (1703)$$

Pour une gestion toute automatique :

$$\begin{aligned}
\theta_{V1_aut} &= \theta_{op_dec_br_p_aut} + \Delta\theta_{op_3_br_p_aut} \\
\theta_{V2_aut} &= \theta_{op_dec_br_p_aut} + \Delta\theta_{op_3_br_p_aut} + \Delta\theta_{op_2_br_p_aut} \\
\theta_{arr_aut} &= \theta_{op_dec_br_p_aut} + \Delta\theta_{op_3_br_p_aut} - \Delta\theta_{op_1_br_p_aut}
\end{aligned} \quad (1704)$$

8.32.3.3.2 Autorisation de fonctionnement des brasseurs d'air

Les brasseurs d'air ne sont pris en compte qu'au cours de la saison de refroidissement propre au groupe, qui s'apparente à la saison d'été au sens des scénarios.

Les algorithmes suivants ne sont exécutés que lorsque *Aut_fr_pro^{gr}(h) = vrai.*

8.32.3.3.3 Prise en compte de la gestion-régulation des brasseurs d'air de type p

8.32.3.3.3.1 Prise en compte de l'occupation et de la plage horaire

Un composant brasseurs d'air de type p est associé à un algorithme de gestion-régulation, selon une logique de gestion manuelle, automatique avec thermostat ou tout automatique (sans ajustement manuel des températures de consigne).

Dans tous les cas de figure, les brasseurs d'air sont considérés désactivés en période d'inoccupation ($i_{occ\_zone}(h)=0$), ce qui revient à un débit d'air de brassage nul :

Si $i_{occ\_zone}(h)=0$, alors

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = 0 \quad (1705)$$

Par ailleurs, si le brasseur d'air est restreint à un usage jour (Usp = 1) ou nuit (Usp = 0), il est considéré désactivé en dehors de la plage horaire correspondante.

Pour Usp = 1 : jour,

Si h_leg(h) > 22h ou h_leg(h) ≤ 6h, alors

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = 0 \quad (1706)$$

Pour Usp = 0 : nuit,

Si h_leg(h) ≤ 22h et h_leg(h) > 6h, alors

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = 0 \quad (1707)$$

Dès lors qu'aucune des conditions listées ci-dessus n'est vérifiée, les brasseurs de type p peuvent être activés. On modélise alors la gestion – régulation en fonction de la température opérative intérieure selon le paragraphe ci-dessous.

8.32.3.3.3.2 Gestion – régulation en fonction de la température opérative intérieure

L'algorithme est la traduction du diagramme à hystérésis de la 8.32.3.3.1 Il est le même pour les trois types de gestion : manuelle, automatique avec thermostat ou tout automatique (sans ajustement manuel des températures de consigne). On utilise cependant des températures de consignes θ_{V1}, θ_{V2} et θ_{arr} calculées et paramétrées différement (voir §8.32.3.3.1).

L'algorithme est décrit en détails ci-dessous dans l'hypothèse d'une régulation manuelle :

Si $\theta_{op,fin}$ (h-1)< θ_{arr_man}

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = 0$$

Sinon, si θ_{arr_man} ≤ $\theta_{op,fin}$ (h-1)< θ_{V1_man},

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = Qv_{air\_br\_p}(\text{h-1}) \quad (1708)$$

Sinon, si θ_{V1_man} ≤ $\theta_{op,fin}$ (h-1)< θ_{V2_man}

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = MAX(Qv_{air\_br\_p\_int}\,;\, Qv_{air\_br\_p}(\text{h-1}))$$

Sinon, si $\theta_{op,fin}$ (h-1) ≥ θ_{V2_man}

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = Qv_{air\_br\_p\_\max\_corr}$$

Pour toute la durée de la période « nuit », une distinction est faite en fonction du type d'usage de la zone : zones à caractère résidentiel ou d'hébergement d'une part, zones à autres usages de l'autre. En résidentiel et hébergement, on considère d'une part que la vitesse maximale du brasseur ne peut être appliquée pour des raisons acoustiques, et d'autre part, en cas de gestion

manuelle, que le débit du brasseur d'air est bloqué sur la position qu'il avait à 23h.

Pour Usp = 0 : nuit ou Usp = 2 : jour et nuit,

Si $i_{hergement}$ =1 et (h_leg(h) > 22h ou h_leg(h) ≤ 6h)

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = \min(Qv_{air\_br\_p}(h); Qv_{air\_br\_p\_int})$$

Si gestion manuelle & [Si h_leg(h) > 23h ou h_leg(h) ≤ 6h]

$$Qv_{air\_br\_p}(h) = Qv_{air\_br\_p}(h-1)$$

8.32.3.4 *Calcul de l'impact des brasseurs d'air sur la température opérative ($\Delta\theta_{op}^{BA}(h)$)*

8.32.3.4.1 Calcul du $\Delta\theta_{op}^{BA\_p}$ engendré par un ensemble de brasseurs d'air de type p

Le $\Delta\theta_{op}^{BA\_p}$ engendré par le fonctionnement d'un ensemble de brasseurs d'air de type p est calculé grâce aux différents paramètres définis dans le paragraphe 1.1.3.1.1. Pour chaque type p de brasseurs d'air, on applique la procédure *Calcul_$\Delta\theta_{op}$* décrite ci-dessous :

$$\Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h) = \text{Calcul\_}\Delta\theta_{op}(p, Qv_{air\_br\_p}(h)) \quad (1709)$$

Algorithme *Calcul_$\Delta\theta_{op}$(p,$Qv_{air\_br\_p}$)*:

D'un ensemble de brasseurs de type p, on se ramène à un brasseur de type p équivalent dont le débit volumique horaire serait :

$$Qv_{air\_br\_p\_tot}(h) = Qv_{air\_br\_p}(h) \cdot N_{br\_p} \quad (1710)$$

On définit ensuite le taux de brassage τ_{br_p} rapporté au brasseur de type p équivalent :

$$\tau_{br\_p}(h) = \frac{Qv_{air\_br\_p\_tot}(h)}{Vol \cdot Rat_{br\_p}} \quad (1711)$$

La vitesse moyenne v_{br_p} dans la zone couverte par l'ensemble des brasseurs d'air de type p peut être approchée par la formule suivante :

$$v_{br\_p}(h) = 0{,}0032 \cdot \tau_{br\_p}(h) \quad (1712)$$

On peut ensuite partir de cette vitesse pour calculer le $\Delta\theta_{op}^{BA\_p}$ qui est engendré par le fonctionnement d'un ensemble de brasseurs d'air de type p au débit $Qv_{air\_br\_p\_max\_corr}$ ou $Qv_{air\_br\_p\_int}$ qui est actualisé à chaque pas de temps selon la valeur de la température opérative, des paramètres de gestion et de l'usage (Jour/Nuit). Le $\Delta\theta_{op}^{BA\_p}$ dépend donc de la vitesse moyenne v_{br_p} dans la zone couverte par l'ensemble des brasseurs d'air de type p mais aussi de la température radiante moyenne θ_{rm}, de la température de l'air intérieure θ_i dans le groupe et se calcule grâce à la formule empirique suivante :

Si $v_{br\_p} \leq 0.2$

$$\Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h) = 0 \quad (1713)$$

Sinon

$$\Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h) = (1{,}8322 \cdot e^{0{,}0361\cdot(\theta_{rm}(h-1)-\theta_i(h-1))}) \cdot ln(v_{br\_p}(h)) + (3{,}0498 \cdot e^{0{,}0368\cdot(\theta_{rm}(h-1)-\theta_i(h-1))})$$

Après avoir calculé les différents $\Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)$, on peut calculer le $\Delta\theta_{op}^{BA}(h)$ global engendré par l'ensemble des brasseurs d'air présents dans le groupe, au prorata des surfaces desservies et en fonction de l'activité de chacun. On calcule ainsi un $\Delta\theta_{op}^{BA\_jour}(h)$ et un $\Delta\theta_{op}^{BA\_nuit}(h)$:

$$\Delta\theta_{op}^{BA\_nuit}(h) = \frac{\sum_{\forall p.:Us_p=0} Rat_{br\_p} \cdot \Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)}{MIN\left[Rat_{Us}^{BA_p}\Big|_{\forall p\ Us_p=0}\right]} + \frac{\sum_{\forall p.:Us_p=2} Rat_{br\_p} \cdot \Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)}{MIN\left[Rat_{Us}^{BA\_p}\Big|_{\forall p\ Us_p=2}\right]} \quad (1714)$$

$$\Delta\theta_{op}^{BA\_our}(h) = \frac{\sum_{\forall p.:Us_p=1} Rat_{br\_p} \cdot \Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)}{MIN\left[Rat_{Us}^{BA_p}\Big|_{\forall p\ Us_p=1}\right]} + \frac{\sum_{\forall p.:Us_p=2} Rat_{br\_p} \cdot \Delta\theta_{op}^{BA\_p}(h)}{MIN\left[Rat_{Us}^{BA\_p}\Big|_{\forall p\ Us_p=2}\right]}$$

Si 6 < $h_{lég}$ ≤ 22, alors

$$\Delta\theta_{op}^{BA}(h) = \Delta\theta_{op}^{BA\_jour}(h) \quad (1715)$$

Sinon, si 22 < $h_{lég}$ ≤ 6, alors

$$\Delta\theta_{op}^{BA}(h) = \Delta\theta_{op}^{BA\_nuit}(h)$$

On obtient en sortie de cet algorithme le $\Delta\theta_{op}^{BA}(h)$ global.

8.32.3.5 *Calcul de la consommation des brasseurs d'air C_{BA} par groupe, zone et bâtiment*

On calcule le débit des brasseurs de type p à chaque pas de temps h. La puissance électrique consommée par le brasseur d'air est proportionnelle au débit de ce même brasseur. Il en résulte l'algorithme suivant permettant de calculer la consommation des brasseurs d'air au pas de temps h $W_{abs\text{-}BA\text{-}p}$ (h) :

Si $Qv_{air\_br\_p}(h) = 0$,
$P_{elec\_br\_p}(h) = 0$
Sinon, si $Qv_{air\_br\_p}(h) = Qv_{air\_br\_p\_int}$,
$P_{elec\_br\_p}(h) = P_{elec\_br\_p\_int}$
Sinon, si $Qv_{air\_br\_p}(h) = Qv_{air\_br\_p\_\max\_corr}$
$P_{elec\_br\_p}(h) = P_{elec\_br\_p\_\max\_corr}$ (1716)

Finalement, on calcule la consommation des auxiliaires associée aux brasseurs d'air, ainsi que le flux thermique vers l'ambiance associé à cette consommation :

$$W_{abs\_BA\_p}(h) = P_{elec\_br\_p}(h) \quad (1717)$$

$$\Phi_{th\_BA\_vc\_p}(h) = P_{elec\_br\_p}(h) \quad (1718)$$

$W_{abs\_BA\_p}$ (h) et $\Phi_{th\_BA\_p}(h)$ sont sommés pour l'ensemble des brasseurs d'air présent dans le groupe *gr* :

$$W_{abs\_BA}{}^{gr}(h) = \sum_{p \in gr} W_{abs\_BA\_p}(h) \quad (1719)$$

$$\Phi_{th\_BA\_vc}{}^{gr}(h) = \sum_{p \in gr} \Phi_{th\_BA\_p}(h) \quad (1720)$$

8.33 Sn_Methode_VEFA_TCH_Chauffage_Effet_Joule

8.33.1 INTRODUCTION

Ce document a pour but de décrire les modalités de prise en compte d'un système de chauffage par défaut en résidentiel, lorsqu'il est installé dans le cadre des travaux acquéreur, suivant l'arrêté du 28 octobre 2019 fixant la liste limitative et les caractéristiques des travaux réservés par l'acquéreur d'un immeuble vendu en l'état futur d'achèvement.

Cette présente fiche décrit les caractéristiques à saisir pour ce système (de la génération jusqu'à l'émetteur).

Remarque : Seul le choix du dimensionnement en puissance est modifiable par l'utilisateur. Il est rappelé que ce dimensionnement doit respecter l'article R.111-6 du code de la construction et de l'habitation.

La saisie de ce système se réalise uniquement à la livraison du bâtiment sans aucun générateur de chauffage.

Cette présente fiche est structurée autour des axes suivants :

- une liste des hypothèses de modélisation de ce système de chauffage par effet joule
- une description des différents composants adoptés pour caractériser ce système de chauffage par effet joule
- une description du scénario d'utilisation du système
- le calcul des consommations liées au générateur effet joule défini

8.33.3 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
	Données générales				
$h_{leg}(h)$	Heure légale au pas de temps h (0 à 24h).	h			
$Usage_z$	Type d'usage de la zone n°z	-			
Rat^l_{loc}	Ratio de surface utile du local l/surface utile de la zone	-			
Az	Surface de la zone n°z du bâtiment	m^2			
Ag	Surface du groupe n°g de la zone n°z	m²			
Id_groupe	Index du groupe n°g	-			
Mode	Mode de calcul en cours	-			
	Données liées au générateur électrique effet joule par défaut				
Q_{req}	Demande en énergie transmise au générateur via la gestion/régulation de la génération.	Wh	0	+∞	-
$id_{fonction}$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le Q_{req} (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multi-fonctions.	Ent	1	3	-
	Données liées à l'émission de chaud				
$i_{occ\_zone}(h)$	Indicateur d'occupation au temps h	Ent.			
$i_{occ\_zone}(h-1)$	Indicateur d'occupation au temps h-1	Ent.			
$\theta_{i,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne de l'air à puissance nulle	°C			
$\theta_{i,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne de l'air pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C			
$\theta_{i,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne de l'air pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C			
$\theta_{s,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne secondaire du groupe à puissance nulle	°C			

$\theta_{s,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne secondaire pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
$\theta_{s,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne secondaire pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
$\theta_{m,moy(0;0)}(h)$	Température moyenne de masse à puissance nulle	°C
$\theta_{m,moy(10;0)}(h)$	Température moyenne de masse pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
$\theta_{m,moy(0;10)}(h)$	Température moyenne de masse pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
$\theta_{rm,moy(0;0)}(h)$	Température radiante moyenne à puissance nulle	°C
$\theta_{rm,moy(10;0)}(h)$	Température radiante moyenne pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
$\theta_{rm,moy(0;10)}(h)$	Température radiante moyenne pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
$\theta_{op,moy(0;0)}(h)$	Température opérative moyenne ressentie à puissance nulle	°C
$\theta_{op,moy(10;0)}(h)$	Température opérative moyenne une puissance émise de 10 W/m² intégralement convective.	°C
$\theta_{op,moy(0;10)}(h)$	Température opérative moyenne ressentie pour une puissance émise de 10 W/m² intégralement radiative.	°C
$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h.	Ent.
$\theta_{iifr\_relance}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement définie par le scénario de relance au pas de temps h.	°C
$\theta_{iifr}(h)$	Température de consigne initiale de refroidissement au pas de temps h	°C
$Aut_{ch,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de chauffage. *1 : le groupe est en saison de chauffage.*	Ent.
$Aut_{fr,eff}(j)$	Indicateur de saison effective de refroidissement. *1 : le groupe est en saison de refroidissement.*	Ent.
$Q_{sys\_lat}^{em}(h)$	Energie latente fournie par l'émetteur *em* au pas de temps h.	Wh
$Q_{sys\_lat}(h)$	Energie latente fournie par l'ensemble des émetteurs au pas de temps h.	Wh

Données liées aux réseaux de distribution intergroupe de chaud		
$Rat_{eff\_fr}^{gr,em}$	Part de l'énergie effective assurée par l'émetteur *em* en refroidissement, pour le groupe *gr* desservi par la distribution intergroupes.	Ent
$\theta_{i,moy}^{gr}(h)$	Température de l'air intérieur moyenne dans le groupe *gr* au pas de temps h (après croisement).	°C
$\theta_{air\_souffle}^{gr,s}(h)$	Température d'air soufflé en amont de l'ensemble bouche/conduit de soufflage *s* du groupe *gr*.	°C
$q_{m,spec\_souffle}^{gr,s}(h)$	Débit massique d'air soufflé de l'ensemble bouche/conduit de soufflage s du groupe gr.	kg/s
$i_{relance}^{ds}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre au réseau de distribution intergroupes.	Ent.
$\delta_{fonct}^{ds}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau du groupe : *0 : Le réseau du groupe ne débite pas,* *1 : Le réseau du groupe débite.*	Entier
$q_{eff}^{ds}(h)$	Débit volumique dans le réseau du groupe en refroidissement.	m³/h
$\theta_{dep}^{ds}(h)$	Température du départ du réseau du groupe *ds*, pour le refroidissement.	°C
$\theta_{ret}^{ds}(h)$	Température du départ du réseau du groupe *ds*, pour le refroidissement.	°C
$Q_{sys\_fr}^{ds}(h)$	Energie requise par le réseau du groupe *ds* en refroidissement.	Wh

Variables d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Variables liées à l'objet générateur électrique effet joule					
id_{fougen}	Fonction du générateur : *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent	1	5	1
id_{engen}	Energie principale du générateur.	Ent	10	69	50
P_{ngen}	Puissance fournie en fonctionnement nominal (100% de charge) du générateur.	W	0	+∞	-
$\Phi_{threcact}$	Pertes thermiques effectives du générateur vers l'ambiance au pas de temps h.	Wh	0	+∞	-
Variables liées à l'emission de chaud					

1) Paramètres initialement intrinsèques

$id_{em\_chaud}^{em}$	Booléen indiquant si l'émetteur *em* a une fonction de chauffage.	Bool	0	1	1
$id_{em\_froid}^{em}$	Booléen indiquant si l'émetteur *em* a une fonction de refroidissement (un émetteur peut avoir les deux fonctions).	Bool	0	1	0
$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$	Variation spatiale en mode chauffage.	°C	-∞	+∞	Voir Tableau 261
$P_{emconv\_ch}^{em}$	Ratio d'énergie convective sur l'énergie totale transmise pour le chauffage	-	0	1	0.95
P_{per}^{em}	Ratio de pertes au dos de l'émetteur sur l'énergie émise.	-	0	1	0
$Gest_{VCV}^{em}$	Mode de gestion/régulation des ventilateurs locaux de l'émetteur : *0 : Pas de ventilateurs* *1 : Régulation automatique permettant un arrêt total des ventilateurs lorsque la température de consigne est atteinte*	Ent.	0	1	
i_{spv}^{em}	Présence d'un régime de super petite vitesse automatique sur le ventilo-convecteur : 0 : Non	Bool	0 (Non)	0 (Non)	0
$P_{VCV\_GV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de grande vitesse.	W	0	+∞	**Voir** Tableau 263
$P_{VCV\_MV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de moyenne vitesse.	W	0	+∞	Voir Tableau 263
$P_{VCV\_PV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de petite vitesse.	W	0	+∞	Voir Tableau 263
$P_{VCV\_SPV}^{em}$	Puissance des ventilateurs locaux du ventilo-convecteur en régime de super petite vitesse.	W	0	+∞	Voir Tableau 263
id_{regul_batt}	Type de régulation de la batterie de refroidissement : *1 – Autre cas*	-	1	-	1
$\theta_{batt\_dim}^{em}$	Température de dimensionnement de la batterie froide de l'émetteur.	°C	0	25	-
FB_{batt}^{em}	Facteur de by-pass de la batterie pour une batterie à débit d'eau régulé de façon progressive (conventionnel).	Réel	0	1	0.8
$\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$	Variation temporelle en mode chauffage.	°C	0,2	+∞	1.8
$P_{sd\_ch}^{em}$	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur de l'émetteur pour le chaud *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	Réel	0	1	0.5

2) Paramètres initalement d'intégration

$Rat_{s\_ch}^{em}$	Ratio de la surface utile traitée par l'émetteur à la surface utile totale du groupe en chaud	-	0	1	
$Rat_{t\_ch}^{em}$	Part assurée par l'émetteur dans l'énergie de chaud totale fournie à la surface utile traitée.	-	0	1	
i_{clim}	Booléen indiquant si le groupe est refroidi.	Bool	0	0	0
A_{gr}	Surface utile du groupe.	m²	0	+∞	-
id_{type}	Type de réseau de distribution du groupe : *0 : réseau de distribution fictif*	Ent.	0	-	-
id_{gest_ch}	Mode de régulation de la température de la distribution du groupe associée à l'émetteur : *0 : sans objet*	Ent	0	-	-
$\theta_{dep\_dim\_ch}$	Température de départ de dimensionnement	°C	-∞	+∞	0
$\theta_{ret\_dim\_ch}$	Température de retour de dimensionnement	°C	-∞	+∞	0
$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement en chaud	°C	-∞	+∞	0

3) Variables initialement internes

$Rat_{em\_eq\_ch}$	Part de l'énergie fournie au groupe assurée par l'émetteur équivalent en chaud	-			
$\delta\theta_{vt\_ch}$	Variation temporelle de l'émetteur équivalent de chaud	°C			
$\delta\theta_{vs\_ch}$	Variation spatiale de l'émetteur équivalent de chaud.	°C			
$P_{emconv\_eq\_ch}$	Ratio d'énergie convective de l'émetteur équivalent de chaud	-			
$P_{sd\_eq\_ch}$	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur associé à l'émetteur équivalent de chaud *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	-			
$\theta_{i\_eq\_ch}(h)$	Température de consigne équivalente en chauffage	°C			
$\theta_{sd\_eq\_ch}(h)$	Température vue par la sonde de l'émetteur équivalent de chaud au début du pas de temps.	°C			
P_{emconv}	Ratio d'énergie convective de l'émetteur équivalent de froid sollicité.	-	0	1	0.95
P_{sd}	Ratio caractéristique de la mesure de température effectuée par le régulateur associé à l'émetteur équivalent de froid sollicité. *Valeurs extrêmes :* *0 : mesure sur la température radiante,* *1 : mesure sur la température de l'air.*	-	0	1	0.5
$\theta_{sd\_0}(h)$	Température vue par la sonde associée au régulateur de l'émetteur équivalent de chaud sollicité, en fin de temps et à puissance émise nulle.	°C			
$\theta_{sd\_10}(h)$	Température vue par la sonde associée au régulateur de l'émetteur équivalent de chaud sollicité, en fin de temps et à puissance émise de 10 kW.	°C			
$\theta_{ic}(h)$	Température de consigne équivalente de chaud.	°C			

$W_{vent\_loc}^{em}(h)$	Consommation électrique des ventilateurs locaux de l'émetteur em.	Wh
$\Phi_{vent\_loc\_amb}^{em}(h)$	Energie transmise à l'ambiance par les ventilateurs sous forme de chaleur.	Wh
$Q_{v\_recirc}^{em}(h)$	Débit volumique de recirculation des ventilateurs locaux de l'émetteur *em*.	m^3/h
$Q_{m\_recirc}^{em}(h)$	Débit massique de recirculation des ventilateurs locaux de l'émetteur *em*.	kg/s
$\theta_{batt}^{em}(h)$	Température de batterie froide de l'émetteur pour le calcul de la déshumidification.	°C
a_0	Ordonnée à l'origine de la droite du groupe	W
a_1	Pente de la droite du groupe	W/°C
$\Phi_{util}(h)$	Puissance moyenne utile appelée par le groupe	W
$\Phi_{crois}(h)$	Puissance nécessaire issue du croisement	W

Gestion/régulation des réseaux de distribution intergroupes de froid

1) **Paramètres initialement d'intégration**

$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution intergroupes : *1 : chauffage*	Entier	1	-	-

2) **Paramètres initialement intrinsèques**

id_{type}	Type de réseau de distribution intergroupes : *0 : réseau de distribution fictif.*	Entier	0	-	-
$id_{v\_air}^{ds}$	Type de batterie associée à la distribution du groupe ds: *0 : Batterie sur air du local.*	Entier	0	-	-
id_{circ_ch}	Mode de régulation du circulateur : *0 : Pas de circulateurs.*	Ent.	0	-	-
$\theta_{dep\_dim\_ch}^{ds}$	Température de départ de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	0
$\theta_{ret\_dim\_ch}^{ds}$	Température de retour de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	0
$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}^{ds}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement.	°C	-∞	+∞	0
q_{resid}^{ds}	Débit résiduel minimal dû à des circulateurs en régime de fonctionnement permanent.	m³/h	-∞	+∞	0
$q_{nom\_fr}^{ds}$	Débit volumique nominal dans le réseau du groupe.	m³/h	-∞	+∞	-

3) **Variables initialement internes**

$q_{tot\_req}(h)$	Débit total requis par les réseaux de distributions du groupe.	m³/h
$q_{eff}(h)$	Débit volumique dans le réseau de distribution intergroupes au pas de temps h.	m³/h
q_{nom_fr}	Débit nominal du réseau intergroupes.	m³/h
q_{resid}	Débit résiduel du réseau intergroupes.	m³/h

Sorties

Nom	Description	Unité

	Générateur électrique effet joule				
$\{Q_{cef(fonct.;en.)}\}$	Consommation en énergie finale du générateur, présenté sous forme de matrice {fonction ; type d'énergie}.	Wh	0	+∞	-
Q_{cons}	Consommation horaire du générateur en énergie finale.	Wh	0	+∞	-
Q_{fou}	Energie totale effectivement fournie par le générateur au pas de temps h.	Wh	0	+∞	-
τ_{charge}	Taux de charge du générateur pour le poste considéré.	Réel	0	1	-
Q_{rest}	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant.	Wh	0	+∞	-
$W_{aux,pro}$	Consommations d'auxiliaire au pas de temps h.	Wh	0	+∞	0
Φ_{vc}	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises vers l'ambiance chauffée.	Wh	0	+∞	-
$\square_{eff}$	Ratio d'efficacité du générateur (rendement)	Réel	0	10	1
$R_{fonctecs}$	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS à charge maximale au pas de temps h.	Réel	0	1	0
	Système d'émissions de chaud				
$Rat_{eff\_ch}^{em}$	Part de l'énergie fournie au groupe effective assurée par l'émetteur en chauffage.	Ent			
$Q_{sys\_ch}^{em}(h)$	Demande en énergie de chauffage transmise par l'émission *em* à son réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh			
$Q_{m\_recirc\_eff}^{em}(h)$	Débit massique de recirculation effectif sur la batterie froide de l'émetteur *em*.	kg/s			
$\omega_{sat}^{em}(h)$	Humidité spécifique à saturation pour la température de batterie $\theta_{batt.}$	kg/kgas			
$\theta_{sd,fin}(h)$	Température vue par la sonde effective à la fin du pas de temps	°C			
$\theta_{i,fin}(h)$	Température de l'air à la fin du pas de temps	°C			
$\theta_{m,fin}(h)$	Température de masse à la fin du pas de temps	°C			
$\theta_{s,fin}(h)$	Température opérative du groupe à la fin du pas de temps	°C			
$\theta_{op,fin}(h)$	Température ressentie par l'occupant moyenne sur le pas de temps	°C			
$\theta_{sd,moy}(h)$	Température vue par la sonde effective moyenne sur le pas de temps	°C			
$\theta_{i,moy}(h)$	Température moyenne de l'air sur le pas de temps	°C			
$\theta_{m,moy}(h)$	Température de masse moyenne sur le pas de temps	°C			
$\theta_{s,moy}(h)$	Température opérative moyenne du groupe sur le pas de temps	°C			
$\theta_{op,moy}(h)$	Température ressentie par l'occupant moyenne sur le pas de temps	°C			
$\Phi_{crois\_ch}(h)$	Puissance de chauffage nécessaire issue du croisement.	W			

$id_{bch}(h)$	Indicateur de besoins de chaud non-nuls au pas de temps h.	Bool
$Q_{sys\_ch}(h)$	Energie requise pour le chauffage totale du groupe.	Wh
$W_{vent\_loc\_tot}(h)$	Consommation électrique totale des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe.	Wh
$\Phi_{vent\_loc\_vc}(h)$	Energie consommée par les ventilateurs locaux de l'ensemble des émetteurs du groupe et transmise à l'ambiance sous forme de chaleur.	Wh
	Réseaux de distribution intergroupes de chaud	
θ_{max_ch}	Température maximale de la distribution intergroupes	°C
$A_{dess\_ch}^{dp}$	Surface totale desservie en chaud par la distribution intergroupes.	m²
$Rat_{surf\_dess\_ch}^{dp,gr}$	Ratio de la surface desservie dans le groupe gr sur la surface totale desservie par la distribution intergroupes, en chauffage	Réel
$i_{relance}(h)$	Indicateur de période de relance au pas de temps h, à transmettre au générateur.	Ent.
$\theta_{i,aval,eq}(h)$	Température d'air équivalente vu par la distribution intergroupes.	°C
$Rat_{bes\_prim\_ch}^{dp,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe relié à un réseau intergroupes sur la somme de tous les besoins de chauffage du réseau intergroupes	Réel
$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes thermiques du réseau.	Réel
$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation des puissances de circulateur issu de la fiche gestion et régulation, pour le réseau intergroupes.	Réel
$\delta_{fonct}(h)$	Indicateur de débit dans le réseau intergroupes : *0 : Le réseau intergroupes ne débite pas,* *1 : Le réseau intergroupes débite.*	Entier
$\theta_{dep}(h)$	Température de départ du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
$\theta_{ret}(h)$	Température de retour du réseau intergroupes, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
$Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)$	Energie de chauffage totale requise en entrée du réseau intergroupes.	Wh
$Rat_{surf}^{dp,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par le réseau de distribution intergroupes	Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	Réseaux de distribution intergroupe de chaud		
θ_{amb_ch}	Température d'ambiance intérieure conventionnelle pour le calcul des déperditions du réseau intergroupes lorsqu'il fonctionne en chauffage.	°C	20
	Constantes physiques		
Ca	Chaleur massique de l'air sec.	J/kgK	1006

Tableau 260 : Nomenclature des différentes variables du modèle

8.33.4 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

8.33.4.1 ***Généralités***

Pour toute la suite, z est un indice repérant toutes les zones et g est un indice repérant tous les groupes, au sens de Th-BCE, existant dans le bâtiment.

Le plan de la description mathématique du modèle est le suivant :

- Tout d'abord, la liste des différentes hypothèses du modèle au §8.33.4.2
- Ensuite, on définit les caractéristiques de l'émetteur qui sera lié au générateur modélisant le chauffage effet joule par défaut en §8.33.4.4,
- Ensuite, on définit les caractéristiques différentes distributions (intergroupe et groupe) qui seront liés au générateur modélisant le chauffage effet joule par défaut en §8.33.4.5,

Rappel : le dimensionnement en puissance de ce système de chauffage doit être saisi par l'utilisateur

8.33.4.2 ***Liste des hypothèses du modèle***

Les hypothèses de la modélisation du système de chauffage par défaut sont les suivantes :

- On modélise ce système par un générateur effet joule classique dont la puissance est à saisir par l'utilisateur
- On modélise ensuite l'émetteur de chaud lié au générateur effet joule par défaut de la manière suivante :
  - On considère que le système d'émission est un système à air,
  - On considère que l'émetteur est un convecteur à soufflage d'air chaud
  - La variation spatiale est de classe C puisque l'émetteur est un convecteur
  - La variation spatiale dépend de la classe de l'émetteur et de la hauteur sous plafond du local. Ainsi, d'après la méthode Th-BCE, pour une variation spatiale de classe C, les valeurs possibles sont les suivantes :

$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$	Locaux de moins de 4 mètres sous plafond	Locaux de moins de 4 à 6 mètres sous plafond	Locaux de moins de 6 à 8 mètres sous plafond	Locaux de plus de 8 mètres sous plafond
Classe C	0.4	1.2	2.0	2.8

Tableau 261 : Extrait de la méthode Th-BCE sur les valeurs de variation spatiale en chauffage en fonction de la hauteur sous plafond du local pour une classe C

  - L'échange radiatif Pemconv_ch est saisi par défaut et pris égal à 0.95 pour un système de soufflage d'air chaud,
  - Les pertes d'énergie au dos de l'émetteur sont considérées comme nulles (c'est-à-dire que l'on considère que l'émetteur n'est pas intégré aux parois donnant sur l'extérieur ou un espace non-chauffé),

- La variation temporelle $\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$ est saisie par défaut (en considérant que le couple régulateur/émetteur permet un arrêt total de l'émission) et prise égale à 1.8K,
- Le coefficient de pondération pour la température d'air noté $P_{sd\_ch}^{em}$ est saisi par défaut et pris égal à 0.5,

➢ Enfin, on modélise les différentes distributions liées à la génération de la manière suivante :

- On considère une distribution intergroupe purement fictive, c'est-à-dire définie par un réseau fictif sans pertes
- On considère une distribution de groupe purement fictive, c'est-à-dire définie par un réseau fictif sans pertes

8.33.4.3 *Ajout du chauffage effet joule par défaut*

C'est l'utilisateur qui doit ajouter au projet tous les composants liés au chauffage effet joule par défaut, de la génération à l'émetteur, et comme ils sont décrits ci-dessus.

La puissance du système effet joule par défaut doit être définie par l'utilisateur en fonction du projet.

8.33.4.4 *Définition de la génération de l'effet joule par défaut*

8.33.4.4.1 Définition de l'assemblage de la génération

L'assemblage de la génération, en particulier celle d'un générateur effet joule, est organisée de la même manière qu'elle est décrite dans la fiche algorithme « S1_Syst_Assemblage de la génération » de la méthode Th-BCE.

8.33.4.4.2 Définition des calculs réalisés au niveau de la génération

Les calculs réalisés au niveau de la génération sont identiques à ceux qui sont décrits dans la fiche algorithme « C_GEN_Calculs génération » de la méthode Th-BCE.

8.33.4.4.3 Définition de la gestion/régulation de la génération

On appelle génération l'ensemble de générateurs fournissant conjointement de l'énergie pour un ou plusieurs usages.

Ce chapitre donne les caractéristiques de la génération à créer au niveau du projet.

La gestion/régulation de la génération réalise à chaque pas de temps la répartition de la demande en énergie sur les différents générateurs associés, dont le générateur de chauffage effet joule par défaut.

Dans notre cas, la demande en énergie provient uniquement de l'émetteur lié au système de chauffage effet joule par défaut.

Pour ce système de chauffage, le mode de régulation globale utilisé est identique à celui décrit dans la fiche algorithme « C_GEN_Gestion/régulation de la génération » de la méthode Th-BCE.

Voici ci-dessous la valeur prise par chaque paramètre lié à la gestion de régulation pour ce système de chauffage effet joule :

Paramètres	Valeurs
$id^{dp}_{fonction}$	1 : Chauffage
id^{dp}_{type}	0 : Réseau de distribution fictif
id^{gnr}_{type}	Générateur électrique effet joule
$id^{gnr}_{fluide-aval}$	2 : Air
id^{gnr}_{fougen}	1 : Chauffage
$id^{gnr}_{priorite\_ch}$	1
$P^{gnr}_{ngen\_ch}$ (kW)	Valeur définie par l'utilisateur
$id_{type\_priorite}$	1 : Sans priorité
$id_{raccord\_gnr}$	0 : Avec possibilité d'isolement
$id^{gen}_{gestion\_ch}$	2 : fonctionnement à la température moyenne des réseaux de distribution
id^{gen}_{pos} (-)	0 : Hors volume chauffé
Rat^{gnr}_{dim} (-)	1

Tableau 262 : Récapitulatif des valeurs prises par les paramètres de la gestion de la génération pour le système de chauffage effet joule par défaut

8.33.4.4.4 Définition du générateur du système effet joule par défaut

8.33.4.4.4.1 Paramétrage

Comme nous l'avons évoqué dans la liste des hypothèses ci-dessus, le chauffage par défaut est modélisé par un générateur électrique effet joule.

Le générateur à effet joule correspond au type *500*.

Les valeurs de id_{fougen} autorisées pour un générateur à effet joule sont :

- *1 : Chauffage*
- *3 : ECS*

Dans notre cas, le générateur effet joule assure uniquement le chauffage.

Ainsi, voici ci-dessous un récapitulatif des valeurs prises pour l'ensemble de ces paramètres :

Générateur effet joule	Valeur du paramètre
Rdim (-)	1
Id_Fougen_Mod (-)	1 : Chauffage

Pngen (kW)	Valeur définie par l'utilsateur

Tableau 263 : Récapitulatif des valeurs prises pour les paramètres du générateur effet joule

8.33.4.4.4.2 Calcul en chauffage

8.33.4.4.4.2.1 Calcul de l'efficacité, des pertes et de la consommation d'auxiliaire

Les générateurs direct à effet joule sont conventionnellement modélisés par des générateurs parfaits, sans pertes ni consommations d'auxiliaires :

$\eta_{gnr} = 1$
$W_{aux,pro} = 0\ (Wh)$ (1721)
$\Phi_{threcact} = 0\ (Wh)$

8.33.4.4.4.2.2 Puissance maximale disponible

La puissance nominale fournie par le générateur à effet joule est égale à sa puissance nominale. Elle ne dépend pas des conditions extérieures :

$P_{max} = P_{ngen}$ (1722)

8.33.4.4.4.2.3 Calcul de la consommation, des pertes vers l'ambiance et de l'énergie reportée

$Q_{fou} = MIN(Q_{req}; P_{max})$
$Q_{cons} = Q_{fou}$ (1723)

$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{cons}$ (1724)

$\tau_{charge} = \frac{Q_{fou}}{P_{max}}$ (1725)

$\Phi_{vc} = 0\ (Wh)$ (1726)

8.33.4.4.4.3 Calcul en ECS

Le calcul en ECS n'est pas réalisé dans le cadre de la présente fiche, limitée aux générateurs pouvant être installés dans le cadre des travaux acquéreurs.

8.33.4.4.4.4 Matrice des consommations du générateur

La consommation en énergie finale du générateur est insérée dans la case correspondant à l'usage (chauffage) et au type d'énergie « 50 : électricité ».

En Wh	*10:Gaz*	*20:Fioul*	*30: Charbon*	*40: Bois*	*50: Electricité*	*60: Réseau*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1;10)}$	$Q_{cef(1;20)}$	…			
2: Refroidiss.	$Q_{cef(2;10)}$	…				
3 : ECS	…					…

Tableau 264: Matrice des consommations en énergies finales $\{Q_{cef\ (poste;énergie)}\}$

8.33.4.5 *Définition et ajout du réseau intergroupe de chaud*

Ce chapitre donne les caractéristiques du réseau intergroupe de chaud du système effet joule par défaut à créer au niveau du projet.

Celles-ci sont les suivantes :

Paramètres	Valeurs
Type_Prim (-)	0 : Réseau de distribution fictif sans pertes
Id_gen (-)	Id du générateur de chaud créé

Tableau 265 : Valeurs des paramètres liés au réseau intergroupe chaud

Les calculs réalisés au niveau du réseau intergroupe chaud sont identiques à ceux des fiches « C-Dist-Distribution intergroupes de chaud et de froid » et « C-DIST-Gestion/régulation des distributions intergroupes de chaud et de froid » de la méthode Th-BCE.

8.33.4.6 *Définition et ajout du système d'émission chaud*

Cette partie de la fiche permet la définition d'**une émission équivalente en chauffage, caractérisée par** :

- Ses propriétés physiques : variation spatiale, pertes au dos, température de fonctionnement, parts des phénomènes convectifs et radiatifs dans les échanges avec l'ambiance
- La part de la demande en énergie du groupe assurée par l'émission équivalente pour le chaud et pour le froid
- Son dispositif de régulation, lui-même défini par une variation temporelle et une mesure de température.
- Ses ventilateurs locaux, définis par une consommation électrique et une énergie transmise à l'ambiance sous forme de chaleur,

A partir de ces émissions équivalentes, on déterminera :

- Les besoins totaux du groupe en énergie,
- Les demandes en énergie de chacun des émetteurs présents dans le groupe,
- Les températures finales du groupe atteintes suite à la transmission de l'énergie au groupe via les émetteurs,

Les étapes de calcul sont les suivantes :

1. Dans un premier temps, on déterminera les propriétés de l'émetteur équivalents pour l'émission de chaud. On calculera également les consommations des ventilateurs locaux équivalentes pour l'ensemble du groupe,
2. Dans un deuxième temps, il faut déterminer si le système a besoin de chaud, de froid, ou pas de besoins. Pour cela, il faut calculer la température vue par le régulateur de l'émetteur effectif, et la comparer aux températures de consigne.
3. Ensuite, on calcule la relation entre puissance totale de l'émetteur équivalent et température moyenne vue par la sonde (droite du groupe).
4. On interpole à la température de consigne pour obtenir la puissance requise totale pour le groupe.

5. On calcule la puissance requise par émetteur et toutes les températures obtenues à la fin du pas de temps en prenant en compte l'émission.

Les paramètres de description de l'émission sont les suivants :

Paramètres	Valeurs
Is_emetteur_chaud	1 : Oui
Is_emetteur_froid	0 : Non
Carac_Haut_Plafond	Utilisation du paramètre Carac_Haut_Plafond de l'émetteur chaud du groupe donc les possibilités sont : 0 : Local de moins de 4m sous plafond 1 : Local de 4 à 6m sous plafond 2 : Local de 6 à 8m sous plafond 3 : Local de plus de 8m sous plafond
Typologie_Emetteur_Chaud (-)	1 : Soufflage d'air chaud
Classe_Variation_Spatiale_Chaud (-)	1 : Classe C
$\delta\theta_{vs\_ch}^{em}$ (°C)	Plusieurs valeurs possibles selon la valeur du paramètre « Carac_Haut_Plafond » Si Carac_Haut_Plafond = 0 : $\delta\theta_{vs\_ch}^{em} = 0$ Si Carac_Haut_Plafond = 1 : $\delta\theta_{vs\_ch}^{em} = 0.6$ Si Carac_Haut_Plafond = 2 : $\delta\theta_{vs\_ch}^{em} = 1.7$ Si Carac_Haut_Plafond = 3 : $\delta\theta_{vs\_ch}^{em} = 2.8$
Couple_Regulateur_Emetteur (-)	0 : Couple régulateur/émetteur ne permettant pas un arrêt total de l'émission
Statut_Variation_Temporelle_Chaud (-)	0 : Valeur certifiée
$\delta\theta_{vt\_ch}^{em}$ (°C)	1.8 (valeur par défaut issue de la méthode Th-BCE)
detection_presence (-)	0 : Autres cas
Rat_s_ch (-)	1

Rat_t_ch (-)	1
Gest_vcv (-)	0 : Pas de ventilateurs

Tableau 266 : Valeurs des paramètres liés à l'émetteur de chaud

Les calculs réalisés (à l'aide de ces paramètres figés) au niveau de cet émetteur de chaud sont identiques à ceux décris dans la fiche « C-Emi-Systèmes Emissions du groupe en chaud et en froid ».

8.33.4.7 *Définition et ajout de la distribution de groupe chaud*

A l'issue de la création de l'émetteur chaud ci-dessus, une distribution de groupe chaud va être créée à partir de celui-ci.

Les caractéristiques de cette distribution de groupe chaud sont les suivantes :

Id_Dist_1^{er} (-)	Indice de la distribution intergroupe crée
Type_2nd (-)	0 : Réseau de distribution fictif sans pertes

Tableau 267 : Valeurs des paramètres liés à la distribution de groupe chaud

Les calculs réalisés (à l'aide de ces paramètres figés) au niveau de cet émetteur de chaud sont identiques à ceux décris dans les fiches « C-Dist-Distribution de chauffage et de refroidissement du groupe » et « C-DIST-Gestion/régulation des distributions de chauffage et de refroidissement du groupe ».

9. ECS

9.1 S1_BAT_production_instantanée_ECS_(dé)centralisée

9.1.1 INTRODUCTION

Il existe plusieurs typologies de productions d'ECS : la production instantanée, la production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s), la production centralisée avec appoints décentralisés et enfin la production mixte (chauffage+ECS).

Ce chapitre décrit l'assemblage des composants constituant la chaîne de la production d'ECS, de l'émission à la génération dans le cas d'une production instantanée seule.

L'association de générateurs instantanés avec des générateurs avec stockage ou avec des générateurs mixtes (fourniture du chauffage et de l'ECS) au sein d'une même génération est possible. L'appel des différents générateurs est détaillé dans la fiche algorithme gestion-régulation de la génération mais ne fait pas l'objet de cet assemblage.

9.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 268 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées à l'assemblage de production instantanée d'ECS.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Scénarios	$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone	-
	i_{ecs} (j)	Indicateur qui précise si le jour j est inclu dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier
	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool
	ah	Clé de répartition horaire	-
Climat	θ_i (h)	Température moyenne de l'air intérieur dans le groupe au pas de temps h.	°C
	θ_{cw}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
	θ_e (h)	Température moyenne de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
	(+voir fiche(s) du (ou des) générateurs)		

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	(+voir fiches de l'assemblage)				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_EMI_Emission_ECS *Voir fiche* C_EIN_besoins_ECS *Voir fiche* C_DIS_Distribution_ECS_du_groupe *Voir fiche* C_DIS_Distribution_ECS_intergroupe *Voir fiche* C_GEN_Gestion/régulation de la génération *(+voir fiche(s) du (ou des) générateurs)*				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_vc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution d'ECS du groupe	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$W_{aux\_prim\text{-}e}^{dp\text{-}e,gr}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale, par groupe	Wh
$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de	Wh

	chaleur au pas de temps *h*.	
$Rat_{besoins\_prim\_e}^{gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous les besoins d'ECS de ce réseau intergroupe	-
$Rat_{surfaces\_prim\_e}$	Ratio de la surface des émetteurs ECS équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe d'ECS sur la somme des surfaces de tous les émetteurs ECS équivalents reliés à ce réseau intergroupe d'ECS	-
A_{dess_e}	Surface totale des émetteurs desservis par une distribution intergroupe	m²
$Q_{ecs\_req\_tot}(h)$	Demande totale en ECS au niveau de la génération.	Wh
$\{Q_{cef(po;en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
$Rat_{bes\_gen\_e}^{dp-e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	-
$\Phi_{vc\_tot}(h)$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération.	Wh
$Rat_{surf\_gen}^{gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes. *(+voir fiche(s) du (ou des) générateurs)*	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
e	Indice propre à l'ECS *(+voir fiches de l'assemblage)*	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	(+voir fiches de l'assemblage)		

Tableau 268 : Nomenclature du modèle

9.1.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DE LA PRODUCTION D'ECS INSTANTANEE, CENTRALISEE OU DECENTRALISEE

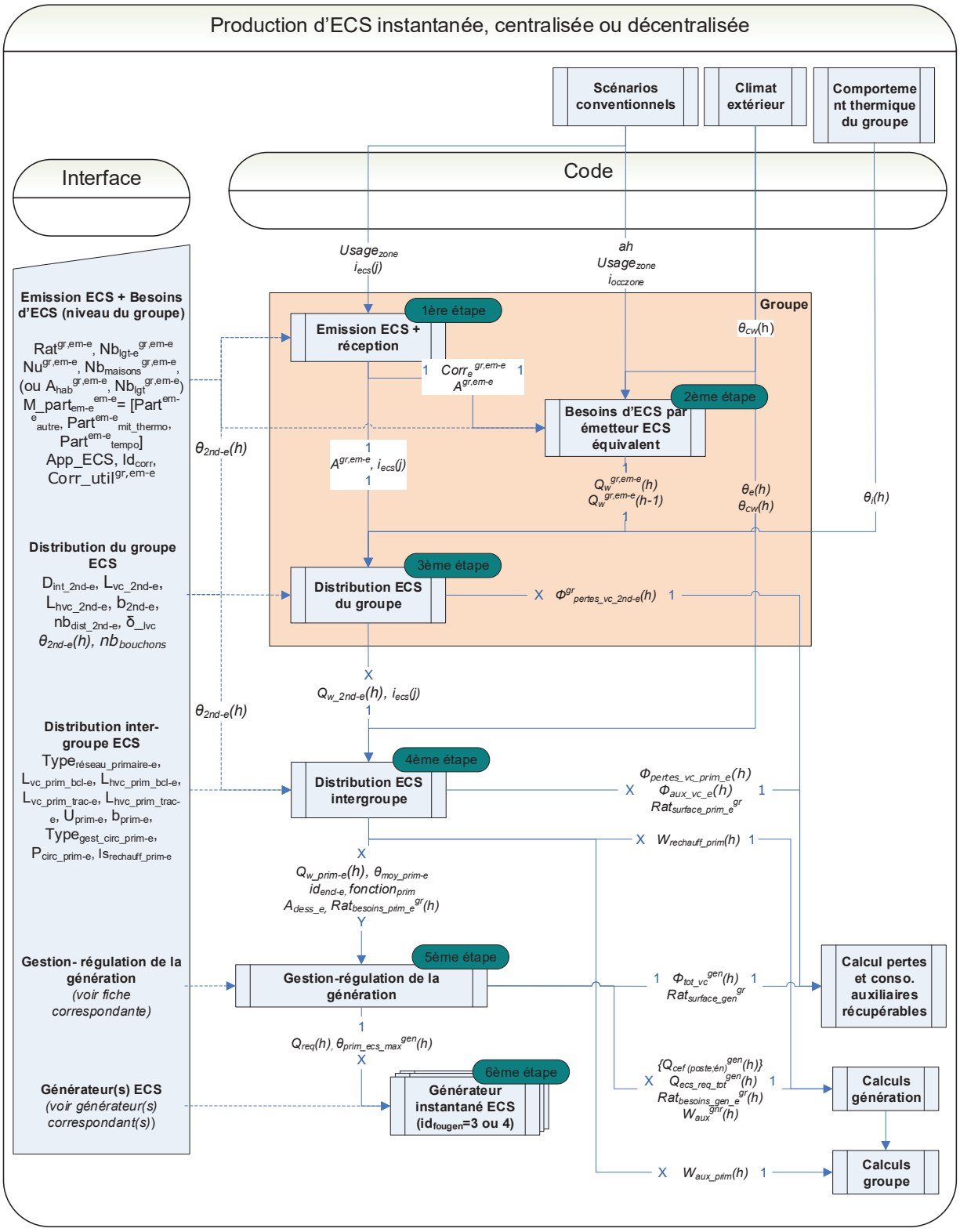


Figure 179 : Schéma d'assemblage de la production instantanée d'ECS

Note : en dehors des six fiches constituant l'assemblage (détaillées ci-dessous), les fiches algorithme « climat extérieur », « comportement thermique d'un groupe », « scénarios conventionnels » sont également représentées.

Les fiches « calculs pertes et consommations auxiliaires récupérables », « calculs génération » et « calculs groupe » sont communes à tous les assemblages de production (chauffage, refroidissement et/ou ECS). Elles interviennent en aval de l'assemblage.

Par ailleurs, le modèle de la production centralisée d'ECS instantanée ne diffère pas de celui de la production décentralisée. Ce qui différenciera ces deux types de production sera la présence ou non d'un réseau primaire « physique » (bouclé ou tracé).

9.1.3.1 *Description de l'assemblage*

Six fiches composent l'assemblage :

- Emission ECS équivalente;

- Besoins ECS ;

- Distribution d'ECS interne au groupe ;

- Distribution d'ECS intergroupe ;

- Gestion-régulation de la génération ;

- Générateurs. Ces générateurs sont décrits dans des fiches « composant » ou des fiches « assemblage ».

Note : le sens des calculs (des émetteurs au(x) générateur(s)) est inversé par rapport au sens d'écoulement de l'ECS.

1) Première étape : émission ECS équivalente

Une émission équivalente est un ensemble d'émetteurs ECS (ou points de puisage) relié à un seul et même type de générateur. On y décrit les émetteurs (robinets,…) mais aussi les « appareils sanitaires » d'ECS (douches, baignoires,…). A partir de ces données, un coefficient correctif est calculé. Ce dernier prend en compte les équipements qui consommeront moins d'ECS.

2) Deuxième étape : calcul des besoins d'ECS

Les besoins d'ECS sont calculés pour chaque émission ECS équivalente. Les paramètres d'intégration (surface desservie, nombre d'unités caractéristiques, etc.) permettent de calculer les besoins hebdomadaires d'ECS aux émetteurs. Une clé de répartition horaire, identique pour chaque émission ECS équivalente d'une même zone, permet ensuite de passer des besoins hebdomadaires aux besoins horaires.

3) Troisième étape : distribution interne au groupe

Le réseau de distribution interne au groupe relie les émetteurs d'ECS soit à une distribution d'ECS intergroupe, soit au(x) générateur(s). La température du réseau d'ECS interne au groupe est un paramètre intrinsèque. Les pertes thermiques sont calculées (à partir du volume d'eau contenu dans les tuyaux) ainsi que la demande d'énergie à fournir (égale au besoin d'ECS majoré des pertes de distribution).

4) Quatrième étape : distribution intergroupe

Le réseau de distribution intergroupe est physiquement en amont du réseau de distribution interne au groupe, il fournit l'eau chaude aux groupes. Quel que soit le type de réseau intergroupe, les informations dans le code transitent par ce composant. Il y a alors deux possibilités :

- si, dans la réalité, il n'y a pas de distribution ECS intergroupe (en production d'ECS individuelle par exemple), ce composant devient « transparent », les entrées et les sorties sont confondues.

- dans le cas contraire, la distribution intergroupe d'ECS est soit bouclée, soit tracée. Sont alors calculés : les pertes de distribution, la température moyenne dans la distribution, la consommation des auxiliaires qu'ils soient circulateurs ou traceurs et la demande d'énergie nécessaire à la distribution pour assurer la demande aux émetteurs ECS (égale aux besoins d'ECS majorés des pertes des distributions intra- et intergroupe).

5) Cinquième étape : la gestion-régulation de la génération

Ces algorithmes définissent les priorités entre tous les générateurs appartenant à la même génération. Les informations de besoins d'ECS à fournir au(x) réseau(x) intergroupe(s) transitent par ces algorithmes avant d'être envoyées au(x) générateur(s).

6) Sixième étape : le (ou les) générateur(s) instantanés

Chaque générateur instantané reçoit une énergie requise couplée à une température aval. En sortie, chaque générateur fournit une matrice des consommations horaires, c'est-à-dire la consommation en énergie finale du générateur par poste (ici que pour l'ECS) et par énergie.

La production d'ECS instantanée est assurée par tous les générateurs dont la variable Id_{fougen} est égale à 3 ou 4.

9.2 **S3_BAT_production_stockage_ECS_(dé)centralisée**

9.2.1 INTRODUCTION

Il existe plusieurs typologies de productions d'ECS : la production instantanée, la production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s), la production centralisée avec appoints décentralisés et enfin la production mixte (chauffage+ECS).

Cette fiche algorithme décrit l'assemblage des composants constituant la chaîne de production d'ECS, de l'émission à la génération dans le cas de la production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s).

L'association de générateurs avec stockage avec des générateurs instantanés ou avec des générateurs mixtes (fourniture du chauffage et de l'ECS) au sein d'une même génération est possible. L'appel des différents générateurs est détaillé dans la fiche algorithme gestion-régulation de la génération mais ne fait pas l'objet de cet assemblage.

9.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 269 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées à l'assemblage de production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s).

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Scénarios	$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone	-
	i_{ecs} (j)	Indicateur qui précise si le jour j est inclu dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier
	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool
	ah	Clé de répartition horaire	-
Climat	θ_i (h)	Température moyenne de l'air intérieur dans le groupe au pas de temps h.	°C
	θ_{cw}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
	θ_e (h)	Température moyenne de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
		(+voir fiche(s) du (ou des) assemblage(s) générateurs)	

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_EMI_Emission_ECS *Voir fiche* C_EIN_besoins_ECS *Voir fiche* C_DIS_Distribution_ECS_du_groupe *Voir fiche* C_DIS_Distribution_ECS_intergroupe *Voir fiche* C_GEN_Gestion/régulation de la génération *(+voir fiche(s) du (ou des) générateurs)*				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_vc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution interne au groupe d'ECS	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$W_{aux\_prim\text{-}e}^{dp\text{-}e,gr}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale, par groupe	Wh
$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de	Wh

	chaleur au pas de temps *h*.	
$Rat_{besoins\_prim\_e}^{gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous les besoins d'ECS de ce réseau intergroupe	-
$Rat_{surfaces\_prim\_e}$	Ratio de la surface des émetteurs ECS équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe d'ECS sur la somme des surfaces de tous les émetteurs ECS équivalents reliés à ce réseau intergroupe d'ECS	-
A_{dess_e}	Surface totale des émetteurs desservis par une distribution intergroupe	m²
$Q_{ecs\_req\_tot}(h)$	Demande totale en ECS au niveau de la génération.	Wh
$\{Q_{cef(po;en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
$Rat_{bes\_gen\_e}^{dp-e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	-
$\Phi_{vc\_tot}(h)$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération.	Wh
$Rat_{surf\_gen}^{gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
	(+voir fiches de l'assemblage)	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	(+voir fiches de l'assemblage)		

Tableau 269 : Nomenclature du modèle

9.2.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DE LA PRODUCTION D'ECS CENTRALISEE OU DECENTRALISEE AVEC STOCKAGE(S)

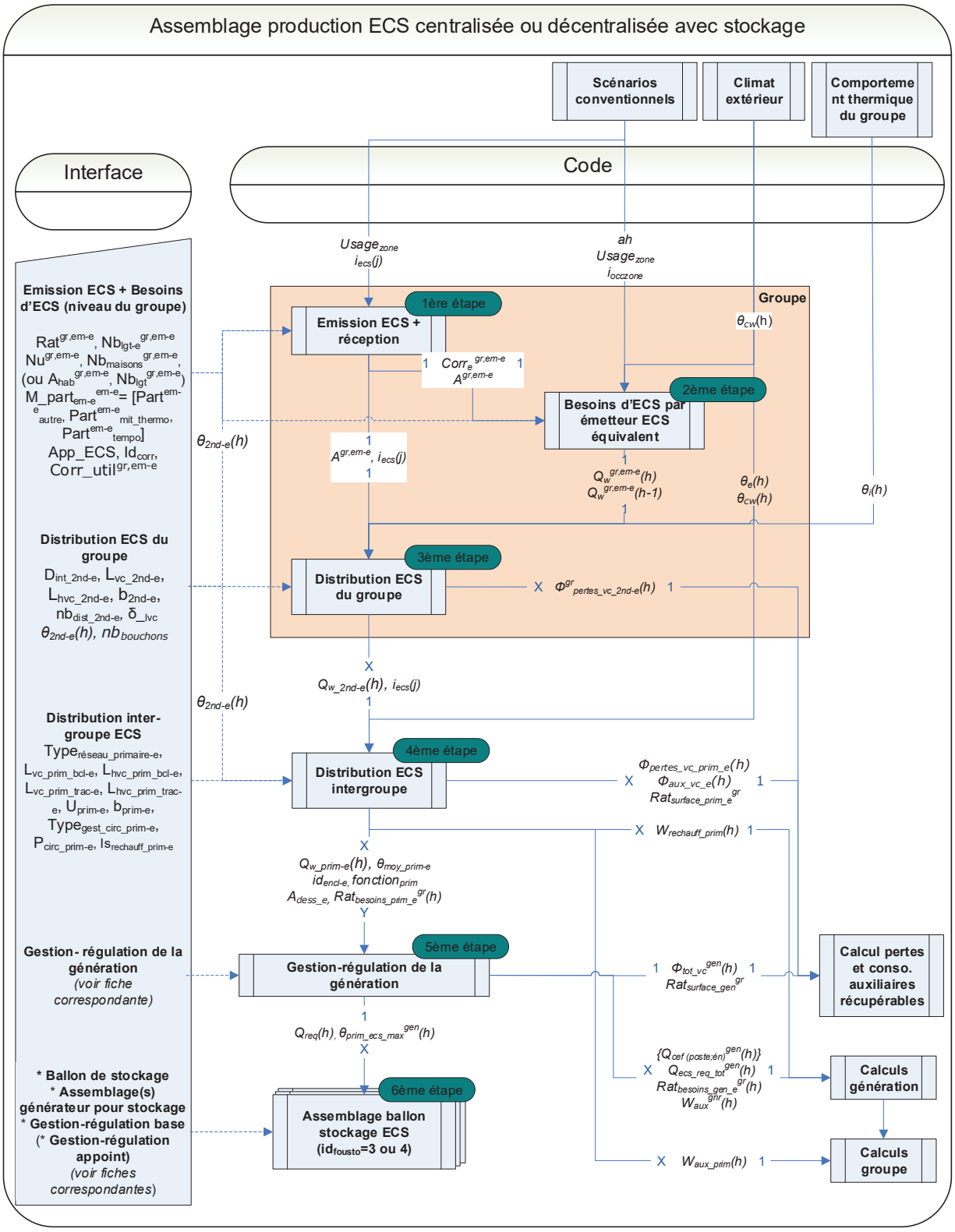


Figure 180 : Schéma d'assemblage de la production d'ECS avec stockage

Note : en dehors des six fiches constituant l'assemblage (détaillées ci-dessous), les fiches algorithme «climat extérieur», « comportement thermique d'un groupe », «scénarios conventionnels» sont également représentées.

Les fiches « calculs pertes et consommations auxiliaires récupérables », « calculs génération » et « calculs groupe » sont communes à tous les assemblages de production (chauffage, refroidissement et/ou ECS). Elles interviennent en aval de l'assemblage.

Par ailleurs, le modèle de la production centralisée d'ECS avec stockage ne diffère pas de celui de la production décentralisée. Ce qui différenciera ces deux types de production sera la présence ou non d'un réseau intergroupe « physique » (bouclé ou tracé).

9.2.3.1 *Description de l'assemblage*

Six fiches composent l'assemblage :

- Emission ECS équivalente;

- Besoins ECS ;

- Distribution d'ECS interne au groupe ;

- Distribution d'ECS intergroupe ;

- Gestion-régulation de la génération ;

- Générateur avec stockage, ces derniers, particuliers du fait de leur(s) stockage(s) sont décrits dans des fiches « assemblage ».

Note : le sens des calculs (des émetteurs au(x) générateur(s)) est inversé par rapport au sens d'écoulement de l'ECS.

1) Première étape : émission ECS équivalente

Une émission équivalente est un ensemble d'émetteurs ECS (ou points de puisage) relié à un seul et même type de générateur. On y décrit les émetteurs (robinets,…) mais aussi les « appareils sanitaires » d'ECS (douches, baignoires,…). A partir de ces données, un coefficient correctif est calculé. Ce dernier prend en compte les équipements qui consommeront moins d'ECS.

2) Deuxième étape : calcul des besoins d'ECS

Les besoins d'ECS sont calculés pour chaque émission ECS équivalente. Les paramètres d'intégration (surface desservie, nombre d'unités caractéristiques, etc.) permettent de calculer les besoins hebdomadaires d'ECS aux émetteurs. Une clé de répartition horaire, identique pour chaque émission ECS équivalente d'une même zone, permet ensuite de passer des besoins hebdomadaires aux besoins horaires.

3) Troisième étape : distribution interne au groupe

Le réseau de distribution interne au groupe relie les émetteurs d'ECS soit à une distribution d'ECS intergroupe, soit au(x) générateur(s). La température du réseau d'ECS interne au groupe est un paramètre intrinsèque. Les pertes thermiques sont calculées (à partir du volume d'eau contenu dans les tuyaux) ainsi que la demande d'énergie à fournir (égale au besoin d'ECS majoré des pertes de distribution).

4) Quatrième étape : distribution intergroupe

Le réseau de distribution intergroupe est physiquement en amont du réseau de distribution interne au groupe, il fournit l'eau chaude aux groupes. Quel que soit le type de réseau intergroupe, les informations dans le code transitent par ce composant. Il y a alors deux possibilités :

- si, dans la réalité, il n'y a pas de distribution ECS intergroupe (en production d'ECS individuelle par exemple), ce composant devient « transparent », les entrées et les sorties sont confondues.

- dans le cas contraire, la distribution intergroupe d'ECS est soit bouclée, soit tracée. Sont alors calculées : les pertes de distribution, la température moyenne dans la distribution, la consommation des auxiliaires qu'ils soient circulateurs ou traceurs et la demande d'énergie nécessaire à la distribution pour assurer la demande aux émetteurs ECS (égale aux besoins d'ECS majorés des pertes des distributions intra- et intergroupe).

5) Cinquième étape : la gestion-régulation de la génération

Ces algorithmes définissent les priorités entre tous les générateurs appartenant à la même génération. Les informations de besoins d'ECS à fournir au(x) réseau(x) intergroupe(s) transitent par ces algorithmes avant d'être envoyées au(x) générateur(s).

6) Sixième étape : le (ou les) assemblage(s) générateur(s) avec stockage

Un assemblage « générateurs avec stockage » est composé : d'un ballon de stockage au moins, d'une gestion-régulation du générateur de base (et d'appoint éventuellement), d'un (ou plusieurs) échangeur(s), d'un (ou plusieurs) générateurs (boucle solaire, générateur thermodynamique, chaudière, électrique, etc.).

Il est possible d'assembler ces composants élémentaires de manière différente afin de modéliser les systèmes de production d'ECS avec stockage. Ces assemblages font l'objet de la fiche algorithme S2_ GEN_ Assemblage constitué d'un ou plusieurs ballon et d'un ou plusieurs générateurs.

9.3 S3_BAT_production_ECS_centralisée_appoints_décentralisés

9.3.1 INTRODUCTION

Il existe plusieurs typologies de productions d'ECS : la production instantanée, la production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s), la production centralisée avec appoints décentralisés et enfin la production mixte (chauffage+ECS).

Cette fiche algorithme décrit l'assemblage des composants constituant la chaîne de production d'ECS, de l'émission à la génération dans le cas de la production centralisée avec appoints décentralisés.

9.3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 270 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées à l'assemblage de production centralisée avec appoints décentralisés.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Scénarios	$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone	-
	i_{ecs} (j)	Indicateur qui précise si le jour j est inclu dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier
	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool
	ah	Clé de répartition horaire	-
Climat	θ_i (h)	Température moyenne de l'air intérieur dans le groupe au pas de temps h.	°C
	θ_{cw}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
	θ_e (h)	Température moyenne de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
		(+voir fiche(s) d'assemblage génération)	

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_EMI_Emission_ECS *Voir fiche* C_EIN_besoins_ECS *Voir fiche* C_DIS_Distribution_ECS_du_groupe				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_vc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution d'ECS du groupe	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$W_{aux\_prim\text{-}e}^{dp\text{-}e,gr}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale, par groupe	Wh
$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
$Rat_{besoins\_prim\_e}^{gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous	-

	les besoins d'ECS de ce réseau intergroupe	
$Rat_{surfaces\_prim\_e}$	Ratio de la surface des émetteurs ECS équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe d'ECS sur la somme des surfaces de tous les émetteurs ECS équivalents reliés à ce réseau intergroupe d'ECS	-
A_{dess_e}	Surface totale des émetteurs desservis par une distribution intergroupe	m²
$Q_{ecs\_req\_tot}(h)$	Demande totale en ECS au niveau de la génération.	Wh
$\{Q_{cef(po;en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
$Rat_{bes\_gen\_e}^{dp-e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	-
$\Phi_{vc\_tot}(h)$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération.	Wh
$Rat_{surf\_gen}^{gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-
$E_{sol\_tot}^{BS}$	Energie totale annuelle cumulée transmise à l'échangeur.	Wh/an
$E_{ef\_aux\_tot}^{BS}$	Energie totale annuel cumulée consommée par la pompe de la boucle solaire.	Wh/an
$\{Q_{cef(poste;énergie)}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie.	Wh
$\{Q_{cef(poste;énergie)}^{gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie, répartie au niveau du groupe	Wh
$C_{ef\_ecs\_m}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par assemblage	Wh
$C_{ep\_ecs\_m}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par assemblage	Wh
C_{ef_ecs}	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par assemblage	Wh
C_{ep_ecs}	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par assemblage	Wh
$C_{ef\_ecs\_m}^{gr}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par assemblage et par groupe	Wh
$C_{ep\_ecs\_m}^{gr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par assemblage et par groupe	Wh
$C_{ef\_ecs}^{gr}$	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par assemblage et par groupe	Wh
$C_{ep\_ecs}^{gr}$	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par assemblage et par groupe	Wh
$\{C_{ef\_gaz}, C_{ef\_fod}, C_{ef\_cha}, C_{ef\_boi}, C_{ef\_ele}, C_{ef\_rdc}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par assemblage	Wh
$\{C_{ep\_gaz}, C_{ep\_fod}, C_{ep\_cha}, C_{ep\_boi}, C_{ep\_ele}, C_{ep\_rdc}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire (de chaud, de froid et d'ECS) par assemblage	Wh
$\{C_{ef\_gaz}^{gr}, C_{ef\_fod}^{gr}, C_{ef\_cha}^{gr}, C_{ef\_boi}^{gr}, C_{ef\_ele}^{gr}, C_{ef\_rdc}^{gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par assemblage et par groupe	Wh

$\{C_{ep\_gaz}^{gr}, C_{ep\_fod}^{gr}, C_{ep\_cha}^{gr}, C_{ep\_boi}^{gr}, C_{ep\_ele}^{gr}, C_{ep\_rdc}^{gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire (de chaud, de froid et d'ECS) par assemblage et par groupe	Wh

Variables internes

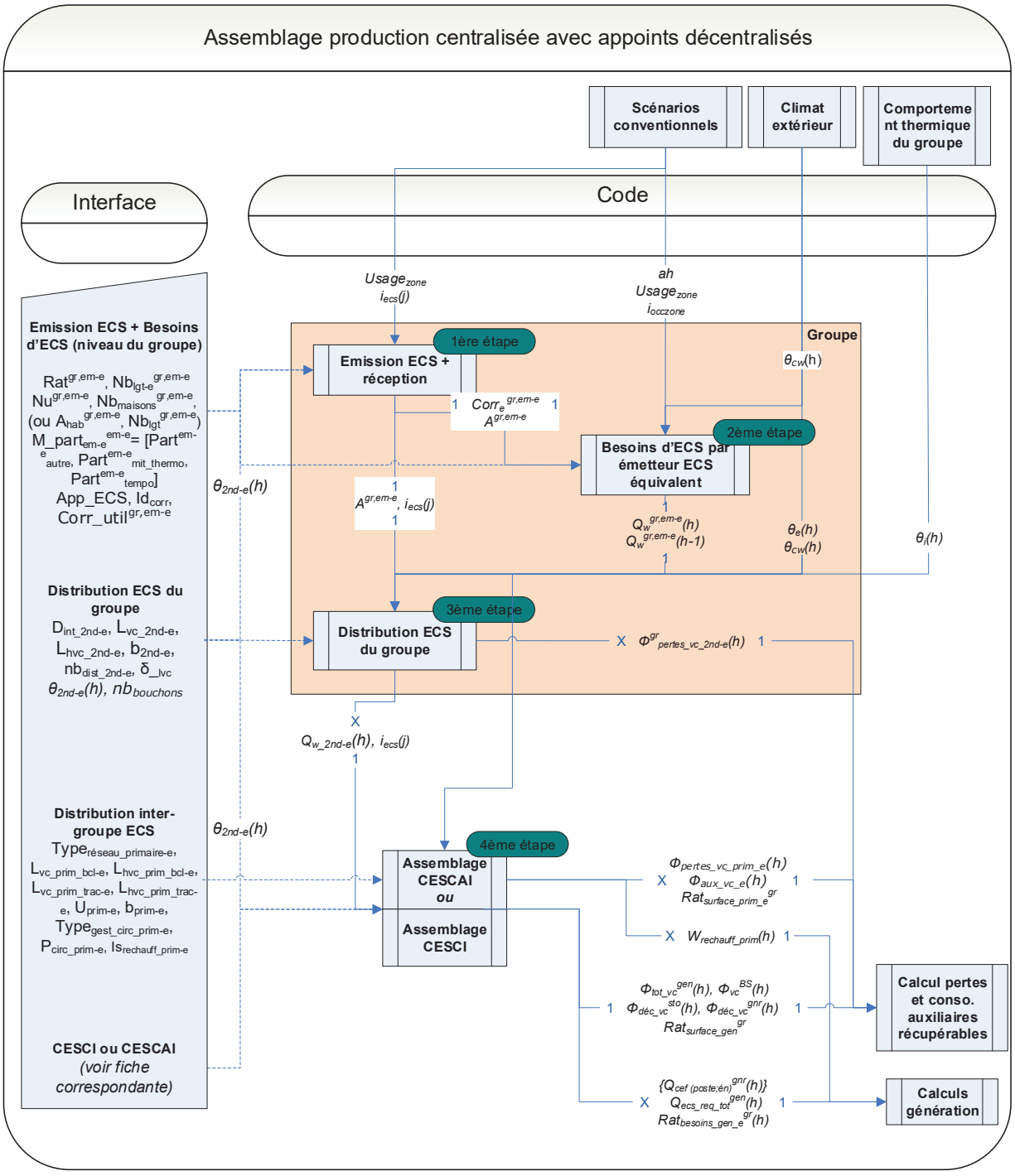
Nom	Description	Unité
	(+voir fiches de l'assemblage)	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	(+voir fiches de l'assemblage)		

Tableau 270 : Nomenclature du modèle

9.3.3 *ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DE LA PRODUCTION D'ECS CENTRALISEE AVEC APPOINTS DECENTRALISES*



Note : en dehors des quatre fiches constituant l'assemblage ECS (détaillées ci-dessous), les fiches algorithme « climat extérieur », « comportement thermique d'un groupe », « scénarios conventionnels » sont également représentées.

Les fiches « calculs pertes et consommations auxiliaires récupérables » et « calculs génération » sont communes à tous les assemblages de production (chauffage, refroidissement et/ou ECS). Elles interviennent en aval de l'assemblage.

9.3.3.1 *Description de l'assemblage*

Quatre fiches composent l'assemblage :

- Emission ECS équivalente;
- Besoins ECS ;
- Distribution interne au groupe ECS ;
- Assemblage « génération » : CESCI ou CESCAI

Note : le sens des calculs est inversé par rapport au sens de l'écoulement de l'ECS à savoir du générateur aux émetteurs ECS.

Les premières étapes décrivent la partie « décentralisée » de l'assemblage.

1) Première étape : émission ECS équivalente

Une émission équivalente est un ensemble d'émetteurs ECS (ou points de puisage) relié à un seul et même générateur. On y décrit les types d'émetteurs (robinets,…) mais aussi les types « d'appareils sanitaires » d'ECS (douches, baignoires,…). A partir de ces données, caractéristiques du bâtiment, un coefficient correctif est calculé. Ce dernier permet de prendre en compte les équipements qui consommeront moins d'ECS. Par ailleurs, la température de l'eau chaude est déterminée ici.

2) Deuxième étape : calcul des besoins d'ECS

Les besoins d'ECS sont calculés pour chaque émission ECS équivalente. Les paramètres d'intégration de cette dernière (surface desservie, nombre d'unités caractéristiques, etc.) sont réutilisés pour obtenir les besoins hebdomadaires d'ECS aux émetteurs. Une clé de répartition horaire, identique pour chaque émission ECS équivalente d'une même zone, permet ensuite de passer des besoins hebdomadaires aux besoins horaires. Ces besoins sont ensuite transmis à la fiche « distribution ECS du groupe ».

3) Troisième étape : réseau de distribution interne au groupe

Le réseau de distribution du groupe relie, dans le cas de la production centralisée, les émetteurs d'ECS à la distribution intergroupe d'ECS. La température du réseau d'ECS du groupe est une sortie de l'émission ECS équivalente. Les algorithmes calculent les pertes de distribution, à partir du volume contenu dans les tuyaux, ainsi que l'énergie nécessaire en sortie de générateur (égale aux besoins d'ECS majorés des pertes de distribution interne au groupe).

4) Quatrième étape : CESCI ou CESCAI

Voir les fiches d'assemblage CESCI ou CESCAI (dont les fiches algorithmes sont respectivement notées S2_GEN_CESCI et S2_GEN_CESCAI).

9.4 S3_BAT_production_mixte

9.4.1 INTRODUCTION

Il existe plusieurs typologies de productions d'ECS : la production instantanée, la production (centralisée ou décentralisée) avec stockage(s), la production centralisée avec appoints décentralisés et enfin la production mixte (chauffage+ECS).

Cette fiche algorithme décrit l'assemblage des composants constituant la chaîne de production mixte (ECS+chauffage), des émissions à la génération.

Cette fiche de présentation ne se substitue pas aux algorithmes de la gestion-régulation de la génération.

9.4.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 271 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées à l'assemblage de production mixte.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Scénarios	$Usage_{zone}$	Type d'usage de la zone	-
Scénarios	i_{ecs} (j)	Indicateur qui précise si le jour j est inclu dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier
Scénarios	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool
Scénarios	ah	Clé de répartition horaire	-
Climat	θ_i (h)	Température moyenne de l'air intérieur dans le groupe au pas de temps h.	°C
Climat	θ_{cw}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
Climat	θ_e (h)	Température moyenne de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
		(+voir fiche(s) d'assemblage du (ou des) générateurs)	

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	(voir fiches de l'assemblage)				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	(voir fiches de l'assemblage)				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_vc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution d'ECS interne au groupe	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$W_{aux\_prim\text{-}e}^{dp\text{-}e,gr}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale, par groupe	Wh
$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
$Rat_{besoins\_prim\_e}^{gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous les besoins d'ECS de ce réseau intergroupe	-
$Rat_{besoins\_prim\_ch}^{g}$	Ratio des besoins de chauffage d'un groupe	-

$^{r}(h)$	relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous les besoins de chauffage de ce réseau intergroupe	
$Rat_{surfaces\_prim\_e}$	Ratio de la surface des émetteurs ECS équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe d'ECS sur la somme des surfaces de tous les émetteurs ECS équivalents reliés à ce réseau intergroupe d'ECS	-
$Rat_{surfaces\_prim\_ch}$	Ratio de la surface des émetteurs de chauffage équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe de chauffage sur la somme des surfaces de tous les émetteurs de chauffage s reliés à ce réseau intergroupe	-
A_{dess_e}	Surface totale des émetteurs desservis par une distribution intergroupe d'ECS	m²
A_{dess_ch}	Surface totale des émetteurs desservis par une distribution intergroupe de chauffage	m²
$Q_{ecs\_req\_tot}$ (h)	Demande totale en ECS au niveau de la génération.	Wh
$Q_{ch\_req\_tot}$ (h)	Demande totale en chauffage au niveau de la génération.	Wh
$\{Q_{cef(po;en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
$Rat_{bes\_gen\_e}^{dp-e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	-
$Rat_{bes\_gen\_ch}^{dp}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un réseau intergroupe relié à la génération sur la somme de tous les besoins d'ECS de cette génération	-
$\Phi_{vc\_tot}(h)$	Total des pertes thermiques et consommations d'auxiliaires transmises sous forme de chaleur aux locaux, pour la génération.	Wh
$Rat_{surf\_gen}^{gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
	(voir fiches de l'assemblage)	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	(voir fiches de l'assemblage)		

Tableau 271 : Nomenclature du modèle

9.4.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DE LA PRODUCTION MIXTE

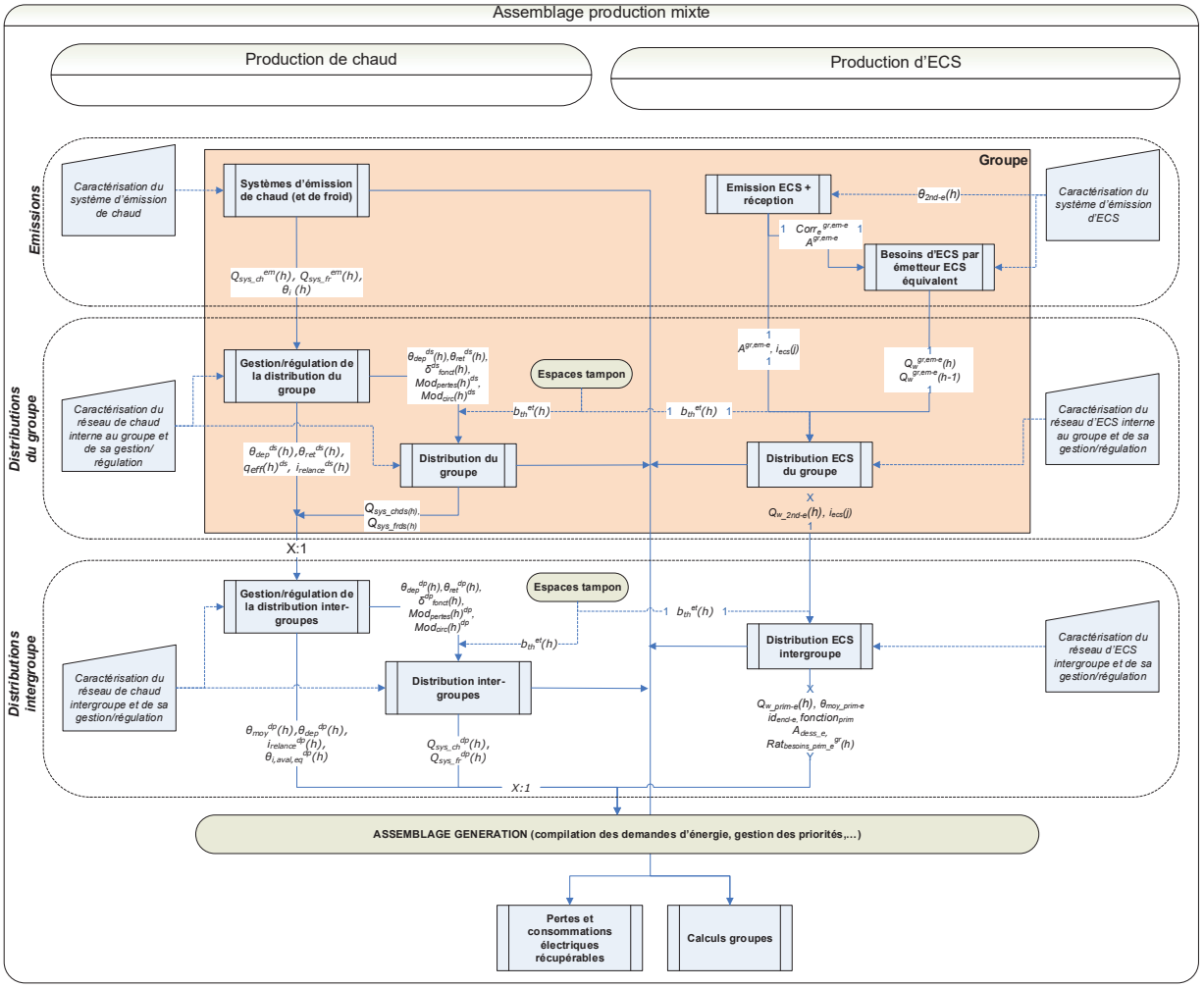


Figure 181 : Schéma d'assemblage de la production mixte ECS/chauffage

9.4.3.1 *Description de l'assemblage*

Plusieurs types de réseaux intergroupe (de chaud, de froid ou d'ECS) peuvent être connectés à une même génération.

Même détaillée dans la gestion-régulation de la génération, nous présentons ici la structure globale des calculs d'une production mixte chauffage et ECS.

1) Première étape : la chaine de production de l'ECS

Les calculs de la chaine de production de l'ECS, des émetteurs à la (aux) distribution(s) intergroupe, permettent d'évaluer la demande d'énergie à fournir par la génération.

2) Deuxième étape : la chaine de production de chauffage

Les calculs de la chaine de production de chauffage, des émetteurs à la (aux) distribution(s) intergroupe, permettent d'évaluer la demande d'énergie à fournir par la génération.

3) Troisième étape : la gestion-régulation de la génération

Les algorithmes de la gestion-régulation de la génération définissent les priorités entre tous les générateurs. En premier lieu, la demande d'énergie totale en l'ECS est assurée par les générateurs reconnus comme pouvant fournir de l'ECS. L'éventuelle énergie disponible restante pourra alors être fournie pour le chauffage.

Liste des assemblages générateurs concernés

Les générateurs instantanés peuvent être mixtes. Dans ce cas, leurs identifiants id_{fougen} est égal à 4.

Les assemblages générateurs avec stockage peuvent également être mixtes. Deux configurations sont possibles :

- soit l'élément de stockage assure la demande d'énergie en chaud et en froid (id_{fousto}=4)
- soit l'élément de stockage est monoservice mais le générateur de base ou le générateur d'appoint est mixte (id_{fousto}=3 et id_{fougen}=4)

Enfin, d'autres assemblages générateur entrent dans la catégorie des productions uniquement mixtes (id_{fousto}=4 et id_{fougen}=4). Il s'agit notamment des Systèmes Solaires Combinés (SSC).

9.5 C_EMI_Emission_ECS

9.5.1 INTRODUCTION

La production de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS) se décompose en quatre étapes : (i) la génération, (ii) le stockage (éventuel), (iii) la distribution et (iv) l'émission.

Cette fiche décrit les algorithmes associés à l'émission d'ECS. L'émission d'ECS est le dernier élément de la chaine de production avant utilisation de l'ECS par l'occupant – d'où la présence de certaines conventions.

Les algorithmes aboutissent au calcul d'un coefficient correctif global tenant compte du type d'émetteurs (mélangeurs, mitigeurs, etc.) et d'appareils (douches, baignoires, etc.) d'ECS du groupe. Ce coefficient est appliqué aux besoins d'ECS conventionnels.

L'objectif est de prendre en compte les émetteurs et appareils d'ECS économes.

9.5.2 NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul d'émission d'ECS.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Zone	$Type\_usage^z$	Type d'usage de la zone z	-
Zone	$I_{ecs}(j)$	Indicateur qui précise si le jour j est inclus dans la période de fonctionnement de la génération d'ECS : - 1, si inclus ; - 0, autrement.	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$gain_{em}^{gr,em-e}$	Gain sur les besoins d'ECS dû aux émetteurs d'ECS	-	0	0,07	
$gain_{app}^{gr,em-e}$	Gain sur les besoins d'ECS dû aux appareils sanitaires d'ECS	-	-0,025	0,05	
$Rat_{douches-bains}$	Pourcentage conventionnel des besoins d'ECS dédiés aux douches et/ou aux bains	-	0	0,9	

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Rat_{em}^{gr,em-e}$	Ratio de surface utile du groupe desservie par un émetteur d'ECS équivalent	-	0	1	
A^{gr}	Surface totale du groupe	m²	0	+∞	
$Nb_{maison}^{gr,em-e}$	Nombre de maisons desservies par un émetteur d'ECS équivalent (supérieur à 1 pour les maisons accolées)	-	0	+∞	
$Nb_{logement}^{gr,em-e}$	Nombre de logements desservis par un émetteur d'ECS équivalent (pour un logement collectif)	-	0	+∞	
$Nu^{gr,em-e}$	Nombre d'unités desservies par un émetteur d'ECS équivalent (pour les usages autres que maison individuelle ou accolée et logements collectifs)	-	0	+∞	
$part_{melangeur}^{gr,em-e}$	Part des besoins d'ECS passant par des mélangeurs pour un émetteur d'ECS équivalent	-	0	1	
$part_{mitigeur}^{gr,em-e}$	Part des besoins d'ECS passant par des mitigeurs thermostatiques et/ou les mitigeurs mécaniques économes, pour un émetteur d'ECS équivalent	-	0	1	

$part_{temporisateur}^{gr,em-e}$	Part des besoins d'ECS passant par des robinets électroniques et/ou des temporisateurs (électroniques ou mécaniques) pour un émetteur d'ECS équivalent	-	0	1
App_ecs	Type d'appareils d'ECS lié à l'émetteur d'ECS équivalent (=1 si douche(s) seule(s) / =2 si baignoire standard / =3 si grande baignoire)	-	1	3

Sorties

Nom	Description	Unité
$corr^{gr,em-e}$	Coefficient correctif dû aux émetteurs et appareils d'ECS, à appliquer aux besoins d'ECS de l'émetteur d'ECS équivalent : - Gains si $corr^{gr,em-e} < 1$; - Pertes si $corr^{gr,em-e} > 1$; - Ni gains ni pertes, autrement.	-
$A^{gr,em-e}$	Surface du groupe desservie par un émetteur d'ECS équivalent	m²

Variables internes

Nom	Description	Unité
$corr_{em}^{gr,em-e}$	Coefficient correctif sur les besoins d'ECS du groupe dû aux émetteurs d'ECS	-
$corr_{app}^{gr,em-e}$	Coefficient correctif sur les besoins d'ECS du groupe par générateur dû aux appareils d'ECS	-
$\theta_{ec}^{gr,em-e}$	Température de l'eau chaude au niveau des émetteurs ECS	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
θ_{2nd-e}^{gr}	Température de la distribution d'ECS du groupe	°C	48
θ_{uw}	Température de l'eau mitigée utilisée au puisage	°C	40

Tableau 272 : Nomenclature du modèle

9.5.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

9.5.3.1 ***Principe de calcul***

L'émission d'ECS équivalente est créée dans un groupe. Elle regroupe un ensemble d'émetteurs et d'appareils d'ECS qui respectent les deux critères suivants : (i) ils appartiennent tous à un groupe et (ii) ils sont tous reliés à une même génération.

Chaque émission d'ECS équivalente est ensuite obligatoirement associée à un et un seul réseau de distribution interne au groupe d'ECS.

Exemple no. 1 :

Dans une production individuelle en logement collectif, au sein d'un groupe, il y aura autant d'émetteurs d'ECS que de générations d'ECS différentes.

Exemple no. 2 :

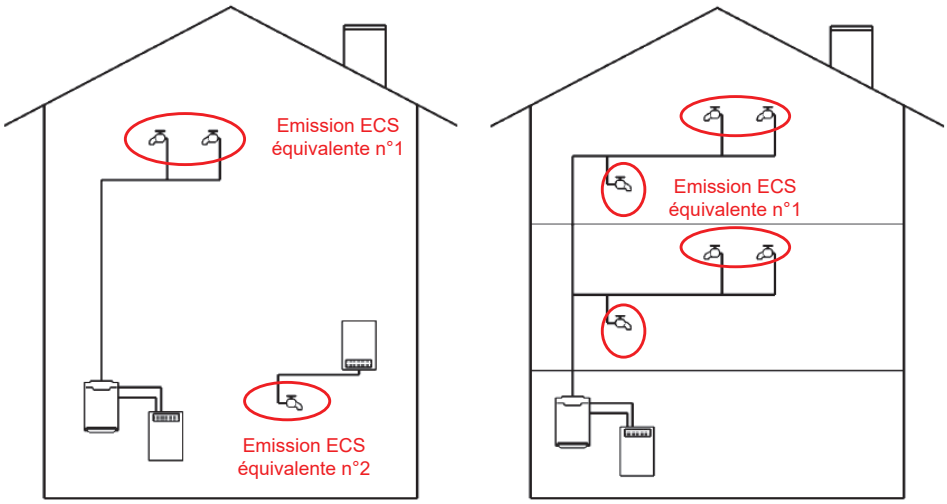


Figure 182 : Exemples de découpage en émetteurs d'ECS avec respectivement une ou deux générations (schémas issus de la NF EN 15316-3-2)

Les calculs des besoins d'ECS s'effectueront par émission d'ECS équivalente, avec les paramètres d'intégration suivants :

Type d'usage de la zone à laquelle appartient le groupe ($Type\_usage^z$)	**Paramètres d'intégration de l'émetteur d'ECS équivalent**
Maisons individuelles ou accolées	$Rat_{em}^{gr,em-e}$, le ratio de surface utile du groupe desservie $Nb_{maison}^{gr,em-e}$, le nombre de maisons accolées concernées
Logements collectifs	$Rat_{em}^{gr,em-e}$, le ratio de surface utile du groupe desservie $Nb_{logement}^{gr,em-e}$, le nombre de logements concernés
Autres usages	$Rat_{em}^{gr,em-e}$, le ratio de surface utile du groupe desservie $Nu^{gr,em-e}$, le nombre d'unités concernées

Tableau 273 : Paramètres d'intégration au niveau des émetteurs d'ECS équivalents

Il est indispensable, pour que les besoins d'ECS calculés soient exacts, que la somme des surfaces utiles desservies dans un groupe soit égale à la surface utile du groupe – autrement un message d'erreur est affiché.

$$\sum_{em-e \in gr} Rat_{em}^{gr,em-e} = 1 \quad (1727)$$

La surface du groupe desservie par un émetteur d'ECS équivalent s'exprime de la façon suivante :

$$A^{gr,em-e} = Rat_{em}^{gr,em-e} \times A^{gr} \quad (1728)$$

9.5.3.2 *Hypothèses de calcul*

Les hypothèses de calcul de l'émission d'ECS sont les suivantes :

- Chaque émission d'ECS équivalente fonctionne indépendamment des autres ;
- Il n'y a pas de liens entre les appareils sanitaires et les émetteurs d'ECS ;
- Il n'y a pas de pertes thermiques au niveau des émetteurs d'ECS ;
- Les besoins d'ECS ne dépendent pas du nombre de points de puisage.

9.5.3.3 *Impact du type d'émetteur d'ECS*

Selon leur fonction principale, les émetteurs d'ECS peuvent être classés en trois catégories :

1. Les mélangeurs et autres ;
2. Les mitigeurs thermostatiques et les mitigeurs mécaniques économes (ceux dont la position médiane correspond à de l'eau froide, c'est-à-dire de type C3 ou CH3 selon le classement ECAU ou EChAU) ;
3. Les robinets électroniques et les temporisateurs (électroniques ou mécaniques).

À une émission d'ECS équivalente, l'utilisateur attribue le pourcentage des besoins d'ECS qui passe par les trois catégories d'émetteurs d'ECS. Ces pourcentages peuvent être représentés sous la forme suivante :

$$M\_part_{em}^{gr,em-e} = \left[part_{melangeur}^{gr,em-e}; part_{mitigeur}^{gr,em-e}; part_{temporisateur}^{gr,em-e}\right] \quad (1729)$$

La somme des trois pourcentages de $M\_part_{em}^{gr,em-e}$ doit être égale à 1.

À chacune des catégories d'émetteurs d'ECS citées ci-dessus, un gain potentiel sur les besoins d'ECS est associé. Les mélangeurs et les mitigeurs mécaniques servent de référence, à savoir qu'ils n'engendrent pas de gain sur les besoins d'ECS.

	Exemples de types d'émetteurs d'ECS	Gain sur les besoins d'ECS $gain_{em}^{gr,em-e}$
Mélangeurs, mitigeurs mécaniques et autres	Mélangeur, mitigeur mécanique, autre émetteur d'ECS, etc.	0%
Mitigeurs thermostatiques et mitigeurs mécaniques économes	Mitigeur thermostatique, mitigeur mécanique économe (dont la position médiane correspond à l'eau froide, c'est-à-dire de type C3 ou CH3 selon le classement ECAU ou EChAU), etc.	5%
Temporisateurs et robinets électroniques	Bouton poussoir, détecteur de présence, poussoir mitigeur, robinets à détecteur infrarouge, robinets électroniques, etc.	7%

Tableau 274 : Gains sur les besoins d'ECS selon le type d'émetteur d'ECS

Les besoins d'ECS calculés par émetteur d'ECS équivalent sont corrigés d'un coefficient

$corr_{em}^{gr,em-e}$.

$$corr_{em}^{gr,em-e} = 1 - \sum_{i} M\_part_{em}^{gr,em-e}(i) \times gain_{em}^{gr,em-e} \quad (1730)$$

9.5.3.4 *Impact du type d'appareils sanitaires*

Les besoins d'ECS dépendent également du type d'appareils d'ECS. L'introduction d'un coefficient correcteur, noté $corr_{app}^{gr,em-e}$, lequel est aussi appliqué aux besoins d'ECS, répond à ce constat.

9.5.3.4.1 Hypothèses de calcul

Les hypothèses de calcul des appareils d'ECS sont les suivantes :

- Seuls les appareils d'ECS de type douches ou baignoires sont concernés par le coefficient correcteur ;
- Les appareils d'ECS sont de type douches seules s'il n'y a pas de baignoires ;
- Les gains sur les besoins d'ECS seront appliqués de la même manière à tous les pas de temps h.

9.5.3.4.2 Pourcentage de besoins dédiés aux douches et/ou aux bains

$Rat_{douches-bains}$ est le pourcentage conventionnel des besoins hebdomadaires d'ECS dédiés aux douches et/ou aux bains – lequel est exprimé par une valeur entre 0 et 1.

Type d'usage ($Type\_usage^z$)	$Rat_{douches-bains}$
Maison individuelle et accolée, logement collectif	80%
Bureaux	50%
Autres usages	0%

Tableau 275 : Valeurs conventionnelles de ratio de besoins dédiés aux douches et/ou aux bains

9.5.3.4.3 Gains sur les besoins d'ECS dus aux appareils sanitaires

Dans le pourcentage de besoins d'ECS dédié aux douches et/ou aux bains, nous supposons que le type d'appareils d'ECS aura une influence (positive ou négative) sur les besoins d'ECS.

Appareils d'ECS (App_ecs)	$gain_{app}^{gr,em-e}$
Douche(s) seule(s)	5,0%
Baignoire sabot (V≤125L)	2,5%
Baignoire standard (125<V≤175 L) et autre	0%
Grande baignoire (V>175 L)	-2,5%

Tableau 276 : Gains sur les besoins d'eau chaude selon le type d'appareil sanitaire

Note : s'il y a plusieurs appareils d'ECS de nature différente, l'appareil le plus défavorable sera retenu.

Le coefficient correctif dû aux appareils sanitaires s'exprime de la manière suivante :

$$corr_{app}^{gr,em-e} = 1 - Rat_{douches-bains} \times gain_{app}^{gr,em-e} \quad (1731)$$

9.5.3.5 *Calcul du coefficient correctif global*

Les besoins d'ECS d'une émission d'ECS équivalente sont finalement multipliés par le coefficient correcteur (tenant compte des émetteurs et des appareils d'ECS) suivant :

$$corr^{gr,em-e} = corr_{app}^{gr,em-e} \times corr_{em}^{gr,em-e} \quad (1732)$$

9.5.3.6 *Température au niveau des émetteurs d'ECS*

La température aux émetteurs d'ECS est égale à celle définie au niveau de la distribution du groupe. Cette température doit être supérieure à celle de l'eau mitigée θ_{uw}.

$$\theta_{ec}^{gr,em-e} = \theta_{2nd-e}^{gr} \quad (1733)$$

Si $\theta_{ec}^{gr,em-e} < \theta_{uw}$, un message d'erreur s'affiche.

9.6 C_EIN_besoins_ECS

9.6.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme a pour objet le calcul les besoins d'Eau Chaude Sanitaire, au niveau d'un émetteur ECS équivalent, pouvant inclure des récupérateurs de chaleur sur les grises.

Ces calculs se décomposent en trois étapes :

- le calcul du nombre de litres à 40°C hebdomadaires nécessaires par émetteur ECS équivalent ;

- la clé de répartition horaire, permettant de passer du nombre de litres hebdomadaires à un nombre de litres horaire. Cette clé de répartition est propre à chaque usage. Elle est donc définie au niveau de la zone, et est commune à tous les émetteurs ECS équivalents situés dans la zone ;

- enfin, le calcul des besoins horaires d'ECS (en Wh). Les besoins horaires d'ECS expriment, pour un émetteur ECS équivalent, la quantité d'énergie nécessaire à l'élévation en température de l'eau froide. La présence de récupérateurs de chaleur sur les grises peut venir modifier les besoins horaires d'ECS. Dans les règles Th-BCE, la masse volumique et la capacité calorifique sont constantes. La température d'eau froide est une donnée des fichiers météorologiques.

9.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 277 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de détermination des besoins d'Eau Chaude Sanitaire.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Scénarios	$Usage_{zone}$	Usage de la zone	-
	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool
	ah	Clé de répartition horaire	-
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS (dépend de la zone climatique)	°C
Em-e	$Corr_{gr,em-e}^{-e}$	Coefficient correctif dû aux appareils sanitaires et aux émetteurs d'ECS, à appliquer aux besoins d'ECS de l'émetteur ECS (<1 gains / =1 pas de gains / >1 pertes)	-
	$Rat_{douches-}$	Pourcentage conventionnel des besoins d'ECS dédiés aux douches et/ou aux bains	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
A^{gr}	Surface utile du groupe	m²	0	+∞	-
$Rat_{eme}^{gr,e}{}_{m-e}$	Ratio de surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	-	0	1	-
$Nu^{gr,em-e}$	Nombre d'unités caractéristiques desservies par un émetteur ECS équivalent (pour les usages autres que maison individuelle ou accolée et logements collectifs)	-	0	+∞	-
$Nb_{lgt-}{}_{gr,em-e}^{e}$	Nombre de logements desservi par un émetteur ECS équivalent (pour l'usage logements collectifs)	-	1	+∞	-
$Nb_{maison}^{gr}{}_{,em-e}$	Nombre de maisons desservies par un émetteur ECS équivalent (pour des maisons individuelles, >1 pour les maisons accolées)	-	1	+∞	-
$I_{recup}^{gr,em-e}$	Présence ou absence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent : 0. Pas de récupérateur de chaleur 1. Présence d'un récupérateur de chaleur	-	0	1	
$Nb_{echangeu}^{gr,em-e,}$	Nombre d'échangeurs de chaleur auxquels sont reliés les appareils sanitaires de l'émetteur équivalent (nombre de configurations unitaires identiques au sein du même émetteur).	-	0	+∞	
$Nb_{relies,dou}^{gr,em-e,}$	Nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires uniquement) reliés à un récupérateur de chaleur commun (configuration unitaire).	-	0	+∞	
$Nb_{non-rei}^{gr,em-e,}{}_{douches-}$	Nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires uniquement) non reliés à un récupérateur de chaleur commun (configuration unitaire).	-	0	+∞	

Sorties

Nom	Description	Unité
$V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e}$	Volume hebdomadaire d'eau puisée à la température θ_{uw} , par émetteur ECS équivalent, corrigé	L
$Q_w^{gr,em-e}$	Besoins horaires d'ECS par émetteur ECS équivalent	Wh
Q_w^{gr}	Besoins horaires d'ECS de tous les émetteurs ECS équivalents du groupe	Wh
$Q_{w\_bruts}^{gr}$	Besoins horaires d'ECS du groupe, non corrigés par les émetteurs d'ECS	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
Q_w	Besoins d'ECS total horaire	Wh
V_{uw}	Volume d'eau puisé à la température θ_{uw}	L
N_{adeq-e}	Nombre d'adultes équivalent pour le calcul des besoins d'ECS	-
$N_{adeq-e}^{gr,em-e}$	Nombre d'adultes équivalents correspondant à la partie du groupe desservie par un même émetteur ECS équivalent (en usage maison individuelle ou accolée et logements collectifs)	-
$N_{max}^{gr,em-e}$	Nombre d'occupants maximal correspondant à la partie du groupe desservie par un même émetteur ECS équivalent (en usage maison individuelle ou accolée et logements collectifs)	-
$a^{gr,em-e}$	Nombre de litres d'eau à θ_{uw} unitaires hebdomadaires, pour un émetteur ECS équivalent	L à θ_{uw}
$A^{gr,em-e}$	Surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	m²
$A_{lgt}^{gr,em-e}$	Surface utile d'un logement moyen (dans le cas d'un LC) desservie par un même émetteur ECS équivalent	m²
N_{adeq}^{z}	Nombre d'adultes équivalents de la zone (voir fiche scénarios conventionnels)	-
$V_{uw\_hebdo\ r,em-e}^{g}$	Volume hebdomadaire d'eau, puisé à la température θ_{uw} , par émetteur ECS équivalent	L
a	Nombre de litres d'eau à θ_{uw} unitaires hebdomadaires (conventionnel dans TH-BCE)	L à θ_{uw}
Nu	Nombre d'unités caractéristiques à considérer	-
$V_{uw,rat-reli}^{gr,em-e,u}$	Volume d'eau mitigée puisée par les douches et/ou baignoires reliées à l'échangeur de chaleur de la configuration unitaire	L
$V_{uw,rat-non}^{gr,em-e,u}$	Volume d'eau mitigée puisée par les douches et/ou baignoires non reliées à l'échangeur de chaleur de la configuration unitaire	L
Rat	Pourcentage conventionnel des besoins hebdomadaires d'ECS dédiés aux douches et/ou baignoires	-
$Nb_{douches-}^{gr,em-e,}$	Nombre de douches et/ou baignoires à l'échelle d'une configuration unitaire	-
$V_{eg}^{gr,em-e-u}$	Volume d'eaux grises évacué à l'échelle d'une configuration unitaire	L
$V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}$	Volume d'eaux grises évacué « récupérable » (passant par un échangeur de chaleur) à l'échelle d'une configuration unitaire	L

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1.163
θ_{uw}	Température de l'eau mitigée utilisée au puisage	°C	40

Tableau 277 : Nomenclature du modèle

9.6.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

9.6.3.1 *Principe du calcul des besoins d'ECS*

Ce paragraphe explique le principe du calcul des besoins d'énergie horaires pour la production d'eau chaude sanitaire.

La quantité de chaleur nécessaire pour préparer l'eau chaude ou besoin d'eau chaude (en Wh) vaut pour chaque système de préparation :

$$Q_w=\rho_w.c_w.V_{uw}.(\theta_{uw}-\theta_{cw}) \quad (1734)$$

Le volume d'eau chaude mitigée, V_{uw} exprimé en litres, pour une heure donnée vaut :

$$V_{uw} = a\ .\ ah\ .\ Nu \quad (1735)$$

Avec :

- a besoins unitaires hebdomadaires d'ECS afférents à l'usage considéré ;
- ah coefficient horaire de la clé de répartition des besoins d'ECS afférente à l'usage considéré ;
- Nu nombre d'unités à considérer (dépend de l'usage).

Le §9.6.3.2 donne les valeurs de a et Nu, corrigées au §9.6.3.3. Le §9.6.3.4 donne les valeurs de ah.

9.6.3.2 *Nombre de litres total à 40°C hebdomadaires par émetteur ECS équivalent*

9.6.3.2.1 Valeurs à considérer

Le volume total hebdomadaire d'ECS puisé (par émetteur ECS équivalent) est le produit des besoins unitaires hebdomadaires a (en nombre de litres d'eau à la température θ_{uw}) et du nombre d'unités caractéristiques de l'émetteur ECS équivalent, $Nu^{gr,em-e}$.

Pour les usages maison individuelle ou accolée et logements collectifs, le nombre d'unités (dont dépend le a) est le nombre d'adultes équivalent (calcul ci-après). Pour les autres usages, Nu et a sont précisées dans le tableau ci-dessous :

Type d'usages	$a^{gr,em-e}$ (besoins d'ECS hebdo en L d'eau à θ_{uw} par unité)	$Nu^{gr,em-e}$ (nombre d'unités par émetteur ECS)
Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle ou accolée	Voir ci-dessous	Voir ci-dessous
Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	Voir ci-dessous	Voir ci-dessous
Enseignement primaire	0,2 L	m² de surface utile
Enseignement secondaire (partie jour)	0,2 L	m² de surface utile
Bureaux	1,25 L	m² de surface utile

Tableau 278 : Besoins unitaires hebdomadaires d'eau chaude sanitaire à 40 °C

9.6.3.2.2 Détails des calculs au niveau de l'émission ECS équivalente

Avant de détailler les calculs, les principes de calculs sont les suivants :

- pour les usages autres que maison individuelle ou accolée et logements collectifs, *Nu* est égal au nombre d'unités caractéristiques de l'émetteur ECS équivalent. *a* est figé dans les scénarios conventionnels (il sera donc le même pour tous les émetteurs d'une zone) ;

- pour les usages maison individuelle ou accolée et logements collectifs, le nombre d'unités caractéristiques *Nu* est égal au nombre d'adultes équivalents. Le calcul du *Nadeq* est identique à celui de la fiche algorithme des scénarios conventionnels mais les paramètres de calcul (surface, nombre de logements,…) sont définis au niveau de l'émetteur ECS équivalent. *a* dépend aussi de ces paramètres. On pose

$$A^{gr,em-e} = Rat_{eme}^{gr,em-e} * A^{gr} \quad (1736)$$

9.6.3.2.2.1 Calcul pour les usages autres que maison individuelle ou accolée et logements collectifs

Si $Usage_{zone} \neq \{1,2\}$, le nombre d'unités caractéristiques $Nu^{gr,em-e}$ est un paramètre d'intégration.

9.6.3.2.2.2 Calcul en usage maison individuelle ou accolée et logements collectifs

Si $Usage_{zone}$ correspond à un usage maison individuelle ou accolée et logements collectifs, le nombre d'adultes équivalents $N_{adeq-e}^{gr,em-e}$ est calculé comme suit.

- ***En usage maison individuelle ou accolée ($Usage_{zone}=1$)***

La surface moyenne d'une maison desservie par l'émetteur ECS équivalent s'écrit

$$A_{maison}^{gr,em-e} = \frac{A^{\text{gr,em-e}}}{Nb_{maison}^{gr,em-e}} \quad (1737)$$

$$N_{max}^{\text{gr,em-e}} = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad A_{maison}^{\text{gr,em-e}} < 30m^2 \\ 1.75 - 0.01875 \times (70 - A_{maison}^{\text{gr,em-e}}) & \text{si} \quad 30m^2 \leq A_{maison}^{\text{gr,em-e}} < 70m^2 \\ 0.025 \times A_{maison}^{\text{gr,em-e}} & \text{si} \quad A_{maison}^{\text{gr,em-e}} \geq 70m^2 \end{cases} \quad (1738)$$

On en déduit

$$Nu^{gr,em-e} = N_{adeq-e}^{\text{gr,em-e}} = Nb_{maison}^{gr,em-e} \times \begin{cases} N_{max}^{\text{gr,em-e}} & \text{si} \quad N_{max}^{\text{gr,em-e}} < 1.75 \\ 1.75 + 0.3 \times (N_{max}^{\text{gr,em-e}} - 1.75) & \text{si} \quad N_{max}^{\text{gr,em-e}} \geq 1.75 \end{cases} \quad (1739)$$

Et

$$a^{gr,em-e} = min\left(392; \left(40 * \frac{A^{gr,em-e}}{N_{adeq-e}^{\text{gr,em-e}}}\right)\right) \quad (1740)$$

- ***En usage logements collectifs (Usage$_{zone}$=2)***

La surface moyenne d'un logement desservi par l'émetteur ECS équivalent s'écrit

$$A_{lgt}^{gr,em-e} = \frac{A^{\text{gr,em-e}}}{Nb_{\text{lg}\,t-e}^{gr,em-e}} \quad (1741)$$

Cette surface est utilisée pour calculer $N_{max}^{\text{gr,em-e}}$ comme suit :

$$N_{max}^{\text{gr,em-e}} = \begin{cases} 1 & \text{si} \quad A_{lgt}^{\text{gr,em-e}} < 10m^2 \\ 1.75 - 0.01875 \times (50 - A_{lgt}^{\text{gr,em-e}}) & \text{si} \quad 10m^2 \leq A_{lgt}^{\text{gr,em-e}} < 50m^2 \\ 0.035 \times A_{lgt}^{\text{gr,em-e}} & \text{si} \quad A_{lgt}^{\text{gr,em-e}} \geq 50m^2 \end{cases} \quad (1742)$$

Le nombre d'adultes équivalent total est défini par

$$N_{max}^{\text{gr,em-e}} = N_{adeq-e}^{\text{gr,em-e}} = Nb_{lgt-e}^{\text{gr,em-e}} \times \begin{cases} N_{max}^{\text{gr,em-e}} & \text{si} \quad N_{max}^{\text{gr,em-e}} < 1.75 \\ 1.75 + 0.3 \times (N_{max}^{\text{gr,em-e}} - 1.75) & \text{si} \quad N_{max}^{\text{gr,em-e}} \geq 1.75 \end{cases} \quad (1743)$$

Et donc, les besoins unitaires s'expriment de la façon suivante :

$$a^{gr,em-e} = min\left(392; \left(40 * \frac{A^{\text{gr,em-e}}}{N_{adeq-e}^{\text{gr,em-e}}}\right)\right) \quad (1744)$$

9.6.3.2.3 Conclusion

Quel que soit l'usage, le nombre de litres d'eau total par semaine à θ_{uw} par émetteur ECS équivalent s'exprime sous la forme suivante

$$V_{uw\_hebdo}{}^{gr,em-e} = a^{gr,em-e}.\ Nu^{gr,em-e} \quad (1745)$$

9.6.3.3 *Prise en compte des équipements et des émetteurs ECS*

Certains appareils sanitaires ECS (baignoire, douche,…) et émetteurs ECS (robinets,…) contribuent à la réduction des besoins d'eau chaude. Pour prendre en compte les appareils économes, le nombre de litres d'eau à 40°C hebdomadaire $V_{uw\_hebdo}^{gr,em-e}$ est corrigé par un coefficient correctif, calculé dans la fiche algorithme C_EMI_Emission_ECS.

Pour chaque émetteur ECS équivalent, noté *em-e*,

$$V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e} = V_{uw\_hebdo}^{gr,em-e} * corr_{-e}^{gr,\ em-e} \quad (1746)$$

9.6.3.4 *Profils de soutirage*

Pour chaque usage, le nombre de litre d'eau total hebdomadaire à θ_{uw} par émetteur ECS équivalent (=$V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e}$), est réparti sur chaque pas de temps de la semaine à l'aide d'une clé de répartition *ah*. Cette clé formalise le profil de puisage et est définie par zone. Calculée dans la fiche scénarios conventionnels, elle est cohérente avec le scénario d'occupation.

Les profils de soutirage sont fonction du mois de l'année, du jour de la semaine et de l'heure de la journée.

Les matrices de répartition des besoins d'ECS sont détaillées dans les scénarios.

Note1 : la variation saisonnière n'est due ni aux évolutions de la température d'eau froide ni aux périodes d'absence des occupants mais est uniquement liée au comportement des occupants.

9.6.3.5 *Calculs des besoins horaires d'ECS*

9.6.3.5.1 Calculs des besoins horaires d'ECS (sans récupérateur de chaleur sur les eaux grises)

La quantité d'énergie nécessaire à chaque heure (en Wh) pour assurer les besoins d'ECS de l'émetteur équivalent ou du groupe s'exprime de la manière suivante :

Par émetteur ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e} = \rho_w \cdot c_w \cdot \left(V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e} \cdot ah\right) \cdot (\theta_{uw} - \theta_{cw})$$

Somme sur tous les émetteurs ECS du groupe : (1747)

$$Q_w^{gr} = \rho_w \cdot c_w \cdot \left(\sum_{em-e} \left(V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e}\right) \cdot ah\right) \cdot (\theta_{uw} - \theta_{cw})$$

Par ailleurs, pour compléter les sorties du moteur, les besoins d'ECS bruts (sans correction par les émetteurs) sont calculés par groupe. Ils ne sont utilisés que comme indicateurs pédagogiques.

$$Q_{w\_bruts}^{gr} = \rho_w \cdot c_w \cdot \left(\sum_{em-e} \left(V_{uw\_hebdo}^{gr,em-e}\right) \cdot ah\right) \cdot (\theta_{uw} - \theta_{cw}) \quad (1748)$$

9.6.3.5.2 Calculs des besoins horaires d'ECS (avec récupérateur de chaleur sur les eaux grises)

Dans le Dans le cas de la présence de récupérateurs de chaleur sur les eaux grises, le calcul des besoins d'ECS est modifié.

Le modèle émetteur-équivalent décrit les équipements et l'installation éventuelle d'un ou plusieurs

récupérateurs de chaleurs sur les eaux grises. Lors de la création d'un émetteur équivalent (au niveau du groupe), l'utilisateur doit confirmer si l'émetteur équivalent contient un système de récupération de chaleur sur les eaux grises :

- $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent) ;

- $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (présence d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises).

Dans le cas où $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (présence d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises), la configuration du système de récupération de chaleur doit être renseignée (au niveau du projet pour la récupération collective). Deux configurations sont possibles :

- $Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (récupération de chaleur « collective – intergroupe ») ;

- $Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (récupération de chaleur « individuelle - groupe »).

La récupération de chaleur « collective - intergroupe » ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$) signifie que les eaux grises récupérables issues des différents émetteurs équivalents de groupes distincts sont redirigées vers un même récupérateur de chaleur (récupérateur central). Les eaux grises sont donc préalablement mélangées (au niveau de la distribution intergroupe définie au niveau du projet) avant leur passage dans l'échangeur de chaleur central.

La récupération de chaleur « individuelle - groupe » ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$) signifie que chaque émetteur équivalent est relié à un échangeur de chaleur situé soit au niveau de l'évacuation (par exemple, un récupérateur de chaleur sous le bac à douche) soit à proximité dans le cas de récupérateurs de chaleur partagés entre appareils sanitaires proches. Dans cette configuration, tout se déroule au sein du groupe (dans l'émetteur équivalent).

Ces deux configurations peuvent prendre différentes formes en fonction de la position du récupérateur de chaleur unitaire (définie au niveau de l'émetteur équivalent). La position du récupérateur de chaleur unitaire vis-à-vis du circuit d'eau froide doit donc également être renseignée par l'utilisateur. Trois installations sont possibles :

- $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ (récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS) ;

- $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (récupérateur de chaleur situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide) ;

- $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ (récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs).

Si le récupérateur de chaleur est situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS ($T_{position}^{gr,em-e} = 0$), la totalité de l'eau froide appelée par ces derniers circule à travers le récupérateur de chaleur. L'eau froide préchauffée utilisée au niveau des mitigeurs permet ainsi de réduire les besoins d'ECS pour atteindre la température de consigne de 40°C (eau mitigée). Le reste de l'eau froide préchauffée est utilisée pour remplacer le volume d'eau extrait au niveau du ballon d'ECS.

Si le récupérateur de chaleur est situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide ($T_{position}^{gr,em-e} = 1$), l'eau froide préchauffée est alors entièrement utilisée comme source d'eau froide du ballon d'ECS. Les mitigeurs n'ont alors pas accès à l'eau froide préchauffée.

Si le récupérateur de chaleur est situé uniquement en amont des mitigeurs, l'eau froide préchauffée est utilisée seulement par les mitigeurs ($T_{position}^{gr,em-e} = 2$). L'eau froide du ballon d'ECS n'est alors pas préchauffée.

Une configuration dépend aussi du nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires) reliés à un même récupérateur de chaleur unitaire (échangeur de chaleur) et du nombre total de d'échangeurs de chaleur (ou configurations unitaires identiques) contenus dans l'émetteur équivalent (tout est défini au niveau du récupérateur de chaleur unitaire). Une configuration (au niveau de l'émetteur équivalent) peut donc s'écrire sous la forme vectorielle suivante : $(Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} ; Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u})$.

Remarque : Un récupérateur de chaleur unitaire (l'indice u sert à spécifier que les appareils sanitaires reliés forment une configuration unitaire) doit être crée pour chaque type de configuration. En d'autres termes, un même récupérateur de chaleur ne peut avoir des configurations distinctes, c'est-à-dire q'un échangeur de chaleur est associé à une et une seule configuration.

L'algorithme mathématique lié au calcul de la récupération de chaleur sur les eaux grises est décomposé en deux étapes : (i) le calcul des volumes, débits et températures nécessaires au modèle de récupération sur les eaux grises, puis (ii) le calcul des besoins d'ECS, noté $Q_w^{gr}(h)$, à destination de la génération d'ECS.

Ces deux étapes sont successives dans le cas de $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (récupération de chaleur situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide), mais espacées dans le cas $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ (récupération de chaleur situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS) ou $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ (récupération de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs) où un passage dans le modèle d'échangeur de chaleur individuel (défini au niveau du récupérateur de chaleur unitaire) est nécessaire avant de pouvoir calculer les besoins d'ECS.

9.6.3.5.2.1 Étape 1 : calcul des volumes, débits et températures du systèmes d'ECS

Les calculs s'effectuent à l'échelle de la configuration unitaire ($gr,em-e,u$), à savoir à l'échelle d'un échangeur de chaleur. Les résultats obtenus sont ensuite multipliés par le nombre de configurations unitaires identiques (nombre d'échangeurs de chaleur). Des constantes conventionnelles sont définies afin de faire les calculs :

- $debit_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$, le débit volumique nominal de fonctionnement d'une douche ou d'une baignoire pour l'émetteur équivalent [L/h];
- $\Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$, la durée nominale de fonctionnement d'une douche ou d'une baignoire pour l'émetteur équivalent [h].

Les bains sont considérés comme des évènements ponctuels qui peuvent être considérés comme négligeables au niveau réglementaire – car non représentatifs. Par conséquent, les baignoires sont traitées comme des douches.

Volumes

Le nombre de litres d'eau mitigée (eau à 40°C) hebdomadaires nécessaires par émetteur d'ECS équivalent (prenant en compte l'effet des appareils économes), noté $V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e}$, est défini dans la partie 9.6.3.3. Ce volume est rapporté au pas de temps horaire, $V_{uw}^{gr,em-e}(h)$, grâce à une clé de répartition horaire propre à chaque usage, laquelle est notée ah, telle que $V_{uw}^{gr,em-e}(h) = V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e} \times ah$.

Le volume d'eau mitigé puisée par heure au niveau du groupe est donc égale à la somme des volumes d'eau mitigée puisée à l'échelle de l'émetteur équivalent :

$$V_{uw}^{gr}(h) = \sum_{em-e \in gr} V_{uw}^{gr,em-e}(h) \quad (1749)$$

Le volume d'eau mitigé puisée par émetteur équivalent correspond quant à lui à la somme des volumes d'eau mitigée puisée à l'échelle de la configuration unitaire (contenu dans un émetteur équivalent) :

$$V_{uw}^{gr,em-e}(h) = \sum_{u \in em-e} Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1750)$$

Le volume d'eau mitigé puisée à l'échelle de la configuration unitaire dépend du nombre d'appareils sanitaires liés à la configuration unitaire et du nombre de configurations unitaires identiques tel que :

$$V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw,rat-relie,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) + V_{uw,rat-non-relie,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1751)$$

avec :

$$V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = Rat \times \frac{Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}}{\sum_{em-e \in gr} \sum_{u \in em-e} Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}} \times V_{uw}^{gr}(h) \quad (1752)$$

$$V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = Rat \times \frac{Nb_{non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}}{\sum_{em-e \in gr} \sum_{u \in em-e} Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}} \times V_{uw}^{gr}(h) \quad (1753)$$

où Rat et $Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}$ sont la proportion des besoins dédiés aux douches et/ou aux bains [-] et le nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires) associés à Rat pour une configuration unitaire [-], respectivement, avec :

$$Rat = \frac{100 - Rat_{douches-bains}}{100} \quad (1754)$$

où $Rat_{douches-bains}$ est le pourcentage de besoins dédiés aux douches et/ou aux bains [-], lequel est défini conventionnellement et $Nb_{douches\_bains}^{gr,em-e,u}$ le nombre total de douches et/ou baignoires défini comme suit :

$$Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u} = Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} + Nb_{non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} \quad (1755)$$

Le volume des eaux grises évacuées est le même que le volume d'eau mitigée puisée par heure, à l'échelle de la configuration unitaire, à savoir :

$$V_{eg}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1756)$$

Équation (2217) est basée sur l'hypothèse que l'évacuation des baignoires se déroule au même pas de temps que les autres appareils sanitaires. Qui plus est, les bains sont considérés comme des évènements ponctuels qui peuvent être considérés comme négligeables au niveau réglementaire – car non représentatifs.

Le volume des eaux grises « récupérables » (à savoir la partie des eaux grises qui passe au travers du récupérateur de chaleur) à l'échelle de la configuration unitaire est quant à lui le suivant :

$$V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}(h) = V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1757)$$

Températures vers distribution

Les constantes suivantes (définies conventionnellement) sont utilisées afin de déterminer le jeu de températures nécessaire en entrée de l'objet « récupérateur instantané de chaleur » :

- θ_{uw}, température de l'eau mitigée utilisée au puisage (égale à 40°C) ;
- $\Delta\theta^{util}_{douches-bains}$, déperditions de température entre l'émission et l'évacuation de l'eau mitigée dans le circuit de distribution.

La température de l'eau mitigée utilisée au puisage est égale à 40°C. Les déperditions de température entre l'émission et l'évacuation de l'eau mitigée dans le circuit de distribution sont définies comme suit :

$$\Delta\theta^{util}_{douches-bains} = 3°C \quad (1758)$$

La température des eaux grises récupérables est le résultat du mélange des volumes évacués de chaque appareil sanitaire de la configuration unitaire relié à l'échangeur de chaleur commun :

$$\theta^{gr,em-e,u}_{eg}(h) = \frac{V^{gr,em-e,u}_{uw,rat-relies,douches-bains}(h) \times \left(\theta_{uw} - \Delta\theta^{util}_{type,douches-bains}\right)}{V^{gr,em-e-u}_{eg,recup}(h)} = \theta_{uw} - \Delta\theta^{util}_{type,douches-bains} \quad (1759)$$

Débits d'eaux grises circulant dans le récupérateur de chaleur

Les débits réels des eaux grises et de l'eau froide circulant dans un échangeur de chaleur sont nécessaires pour le calcul de son efficacité. Le débit horaire ne permet pas de représenter fidèlement les débits d'évacuation (et donc l'efficacité de l'échangeur de chaleur sur les eaux grises). L'utilisation des débits horaires supposeraient une évacuation de l'eau en continu sur une heure (durée du pas de temps de simulation) alors que l'utilisation effective des appareils sanitaires est souvent inférieure à cette durée.

Pour chaque échangeur de chaleur, un débit moyen probable lors des périodes de fonctionnement est calculé grâce à une méthode reposant sur des hypothèses conventionnelles quant à la nature des puisages pour les douches et/ou baignoires. Le volume des eaux grises « récupérables » est alors décomposé en un nombre de puisages significatifs/équivalents.

Un nombre de puisages équivalents pour les douches et baignoires reliées est calculé de la façon suivante :

$$N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}(h) = \left\lceil \frac{V^{gr,em-e,u}_{uw,rat-relies,douches-bains}(h)}{V^{gr,em-e}_{uw-equiv,douches-bains}} \right\rceil \quad (1760)$$

où $V^{gr,em-e}_{uw-equiv,douches-bains}$ est le volume équivalent à 40°C par type [m^3] (lequel dépend du débit nominal $debit^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains}$ [m^3/s] et de la durée nominale $\Delta t^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains}$ [s] définis conventionnellement) calculé comme suit :

$$V^{gr,em-e}_{uw-equiv,douches-bains} = debit^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains} \times \Delta t^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains} \quad (1761)$$

Un nombre de puisages équivalents pour les douches et baignoires non reliées est calculé comme suit :

$$N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) = \left\lceil \frac{V^{gr,em-e,u}_{uw,rat-non-relies,douches-bains}(h)}{V^{gr,em-e}_{uw-equiv,douches-bains}} \right\rceil \quad (1762)$$

Le nombre de puisages équivalents permet de calculer un débit effectif en conservant comme référence la durée nominale (définie conventionnellement) :

$$debit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h) = \frac{V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}} \quad (1763)$$

$$debit_{effectif-non-relies}^{gr,em-e,u}(h) = \frac{V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}} \quad (1764)$$

D'après les hypothèses précédentes, si tous les puisages avaient lieu simultanément au pas de temps h, le débit d'ECS maximal (pour les appareils sanitaires reliés) serait donc $N_{puisage-equiv,reliés,douches-bain}^{gr,em-e,u}(h) \times débit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h)$. Comme tous les puisages n'ont pas forcément lieu en même temps, le débit des eaux grises est donc calculé à partir du débit d'ECS effectif, en intégrant un facteur de concomitance :

Si $N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = 1$:

$$debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) = N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times debit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1765)$$

sinon :

$$debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) = N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times debit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h) \times Y_{relies}(h) \quad (1766)$$

où $Y_{relies}(h)$ est le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages (facteur de concomitance), pour les a ppareils sanitaires reliés, calculé comme suit :

$$Y_{relies}(h) = \frac{0,8}{\sqrt{N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) - 1}} \quad (1767)$$

Si $N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = 1$:

$$debit_{eg,non-recup}^{gr,em-e,u}(h) = N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times debit_{effectif-non-relies}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1768)$$

sinon :

$$debit_{eg,non-recup}^{gr,em-e,u}(h) = N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times debit_{effectif-non-relies}^{gr,em-e,u}(h) \times Y_{non-relies}(h) \quad (1769)$$

où $Y_{non-relies}(h)$ est le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages (facteur de concomitance), pour les a ppareils sanitaires reliés, calculé comme suit :

$$Y_{non-relies}(h) = \frac{0{,}8}{\sqrt{N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) - 1}} \quad (1770)$$

Débits d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur

Le débit d'arrivée d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur dépend de la position du récupérateur de chaleur.

Si $T^{gr,em-e}_{position} = 0$ *(récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froid)*

Toute l'eau froide entrante afin de remplacer le volume d'eau rejeté circule dans l'échangeur de chaleur. Le débit d'eau froide est donc égal à tout instant au débit d'eau rejeté :

$$debit^{gr,em-e,u}_{ef}(h) = debit^{gr,em-e,u}_{eg,recup}(h) + debit^{gr,em-e,u}_{eg,non-recup}(h) \quad (1771)$$

Si $T^{gr,em-e}_{position} = 1$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid)*

Seul le volume d'eau froide à destination du ballon d'eau chaude circule dans l'échangeur de chaleur. Le débit d'eau froide correspondant est égal au débit d'eau chaude fourni par le ballon à l'ensemble des mitigeurs (reliés ou non). À tout instant, le volume d'eau chaude appelé est le suivant :

$$V^{gr,em-e,u}_{ec}(h) = V^{gr,em-e,u}_{uw}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{cw}} \quad (1772)$$

Le débit d'eau froide circulant dans le récupérateur de chaleur unitaire est donc calculé comme suit :

$$debit^{gr,em-e,u}_{ef}(h) = \left[debit^{gr,em-e,u}_{eg,recup}(h) + debit^{gr,em-e,u}_{eg,non-recup}(h)\right] \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{cw}(h-1) - \theta_{cw}} \quad (1773)$$

Si $T^{gr,em-e}_{position} = 2$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs)*

Seul le volume d'eau froide à destination des mitigeurs reliés circule dans l'échangeur de chaleur. Ce volume est difficile à évaluer puisqu'il dépend de la température de l'eau préchauffée et que cette dernière dépend du débit d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur. Le pas de temps horaire est trop grand pour utiliser la température au pas de temps précédent comme référence.

Un calcul itératif au sein du même pas de temps horaire h dans le bloc « récupérateur instantané de chaleur sur les eaux grises » est utilisé afin de calculer la température de l'eau préchauffée

Initialisation

$n = 0$

$n\_max = 1000$

$\theta^{gr,em-e,u}_{ep}(n=0) = \frac{\theta_{eg}+\theta_{cw}}{2}$ (Correspond à un rendement initial de l'échangeur de chaleur de 50%)

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n=0) = debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{ep}}$$

Boucle

Tant que $n <= n\_max$ ou que $\frac{\left|debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n) - debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n-1)\right|}{debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)} > 5\%$ (passage dans le récupérateur, h est fixe) :

$\theta_{ep}(n+1)$ ← Modèle échangeur instantané de chaleur ($debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)$)

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n+1) = debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(n+1)}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{ep}(n+1)}$$

$n = n+1$

Fin

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h) = debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)$$

Le débit obtenu avec une marge d'erreur inférieure à 5% est alors utilisé comme donnée d'entrée du module échangeur du processus de calcul normal. Il « repasse » donc une fois de plus dans le module échangeur (entrainant un gain en précision sur les données de sorties).

9.6.3.5.2.2 Étape 2 : calcul des besoins d'ECS

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (*récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid*) ou $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Le volume d'eau chaude appelée au niveau de la configuration unitaire est identique à celui en l'absence de récupérateur de chaleur sur les eaux grises.

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}} \quad (1774)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}} \quad (1775)$$

Les besoins d'ECS ne sont pas modifiés par la présence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises. La configuration ($T_{position}^{gr,em-e} = 1$) est la seule configuration pour laquelle il n'est pas nécessaire de revenir calculer les besoins au niveau de l'émetteur équivalent après passage dans le module d'échangeur de chaleur. Les besoins ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe : (1776)

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Les effets de la présence d'un récupérateur de chaleur sur eaux grises pour $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ s'observent au niveau du ballon d'ECS (voir Assemblage ballon ECS en partie 9.21.3).

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ *(récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froid*)

L'utilisation d'une eau préchauffée au niveau du ou des mitigeurs revient à diminuer les besoins horaires d'eau chaude par rapport à une installation sans récupérateur de chaleur.

Cet effet se traduit donc par une diminution des besoins d'eau chaude. Il est alors nécessaire de calculer le nouveau volume d'eau chaude appelée :

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} \quad (1777)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} \quad (1778)$$

Les besoins d'ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe : (1779)

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Le reste de l'eau froide préchauffée vient remplacer dans des proportions exactes le volume d'eau chaude puisée dans le ballon d'ECS, diminuant ainsi les consommations d'énergie (voir Assemblage ballon ECS en partie 9.21.3).

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs)*

Comme pour $T_{position}^{gr,em-e} = 0$, l'utilisation d'une eau préchauffée au niveau du ou des mitigeurs revient à diminuer les besoins d'ECS par rapport à une installation sans récupérateur de chaleur mais cette fois uniquement pour les émetteurs reliés au récupérateur de chaleur. À l'échelle de la configuration unitaire, cela se traduit par :

$$\begin{aligned} V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = {} & V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} \\ & + V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}(h)} \end{aligned} \quad (1780)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) \quad (1781)$$

Les besoins d'ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe : (1782)

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

À l'inverse de $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ et $T_{position}^{gr,em-e} = 1$, l'eau froide en entrée du ballon ECS n'est pas préchauffée. La présence d'un récupérateur de chaleur n'a donc pas d'effet sur la génération.

9.7 C_DIS_Distribution_ECS_du_groupe

9.7.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit le modèle du réseau de distribution interne à un groupe pour l'eau chaude sanitaire. Ce réseau appartient exclusivement à un groupe et est lié à une émission ECS équivalente. Ces calculs interviennent après ceux des besoins d'ECS.

Un réseau de distribution du groupe correspond au deuxième niveau d'arborescence d'un réseau de distribution. Plusieurs réseaux de distribution du groupe peuvent être connectés à un même réseau de distribution intergroupe.

Les caractéristiques principales du réseau de distribution du groupe sont ses pertes (en W/K, dont une partie seulement est récupérable par le groupe) et sa température.

9.7.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 279 donne la nomenclature des différentes variables du modèle du réseau de distribution du groupe de l'ECS.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Besoins Ecs Em-e	$Q_w^{gr,em-e}(h-1)$	Besoins d'ECS par émetteur ECS équivalent, au pas de temps précédent h-1	Wh
	$Q_w^{gr,em-e}(h)$	Besoins d'ECS par émetteur ECS équivalent, au pas de temps h	Wh
	$A^{gr,em-e}$	Surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	m²
ET.	$\theta_i(h)$	Température moyenne de l'air intérieur dans le groupe au pas de temps h.	°C
	$\theta_{ext}(h)$	Température moyenne de l'air extérieur au pas de temps h.	°C
	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon.	Réel
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
	$Usage_{zone}$	Usage de la zone	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$nb_{bouchons}$	Nombre de bouchons d'eau froide par heure de la distribution d'ECS	-	0	+∞	-
D_{int_2nd-e}	Diamètre intérieur de la distribution d'ECS.	m	0	+∞	-
L_{vc_2nd-e}	Longueur totale du réseau de distribution d'ECS, interne au groupe, situé en volume chauffé divisée par nb_{dist_2nd-e}	m	0	+∞	-
L_{hvc_2nd-e}	Longueur totale du réseau de distribution d'ECS, interne au groupe, situé hors volume chauffé divisée par $nb_{dist\ 2nd-e}$	m	0	+∞	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
nb_{dist_2nd-e}	Nombre de distributions d'ECS du groupe strictement identiques connectés au même émetteurs ECS équivalent.	-	0	+∞	
δ_{lvc}	Utiliser la longueur de distribution d'ECS du groupe en volume chauffé par défaut? (=0 : valeur par défaut / =1 valeur à saisir)	-	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{w\_2nd\text{-}e}(h)$	Besoins d'ECS horaires majorés des pertes de distribution	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution d'ECS interne au groupe	Wh
$Alerte_{temp\text{-}e}$	Alerte si la température de la distribution d'ECS du groupe est inférieure à la température de l'eau mitigée θ_{uw}.	bool

Variables internes

Nom	Description	Unité
$V_{vc\_2nd\text{-}e}$	Volume de la distribution du groupe d'ECS en volume chauffé	L
$V_{hvc\_2nd\text{-}e}$	Volume de la distribution du groupe d'ECS hors volume chauffé	L
$Is_{successif}(h)$	Indice pour corriger, à chaque pas de temps, le nombre de bouchons d'eau froide dans le cas de puisages successifs d'ECS	-
$\Phi_{pertes\_hvc\_2nd\text{-}e}(h)$	Pertes hors volume chauffé du réseau de distribution du groupe d'ECS	Wh
$ds\text{-}e$	Caractérise la distribution du groupe d'ECS	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1.163
$\theta_{2nd\text{-}e}$	Température de la distribution d'ECS du groupe	°C	53
θ_{uw}	Température de l'eau mitigée utilisée au puisage	°C	40

Tableau 279 : Nomenclature du modèle

9.7.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Le composant de distribution du groupe ECS est obligatoire dès lors qu'il y a un composant émetteur ECS. Le réseau de distribution du groupe est relié en aval à une seule émission ECS équivalente et en amont à :

1) soit une distribution intergroupe ;

2) soit directement à une génération (dans ce cas la distribution intergroupe est fictive).

Ce chapitre détermine pour chaque distribution d'ECS du groupe :

- les pertes de distribution, égales à l'énergie perdue dans le circuit de distribution ECS du groupe;

- les consommations des auxiliaires de distribution ;

- les besoins augmentés des pertes de distribution d'ECS du groupe.

9.7.3.1 *Le réseau de distribution d'ECS au sein d'un groupe*

9.7.3.1.1 Hypothèses choisies

- le réseau de distribution du groupe est relié à une et une seule émission ECS (description des robinets, appareils sanitaires…) équivalente ;

- il n'y a pas de circulateurs dans ces réseaux ;

- ces réseaux ne sont pas isolés ;

- on peut décrire $nb_{dist\_2nd\text{-}e}$ réseaux internes au groupe identiques.

9.7.3.1.2 La température de la distribution du groupe pour l'ECS

La température de la distribution d'ECS interne au groupe θ_{2nd-e} est définie par l'utilisateur. Cette température est supposée constante dans toute la distribution. Un message d'erreur apparaitra si:

- la température des réseaux d'ECS est inférieure à celle de l'eau mitigée demandée aux émetteurs ECS ;

- dans le cas d'une production centralisée à appoints décentralisés (CESCI ou CESCAI), la température est supérieure à la température de consigne des ballons décentralisés.

9.7.3.1.3 Les longueurs du réseau de distribution d'ECS interne au groupe

La partie du réseau en volume chauffé L_{vc_2nd-e} se distingue de la partie hors volume chauffé L_{hvc_2nd-e}.

Pour la longueur de distribution en volume chauffé, l'utilisateur a le choix entre une valeur par défaut et une valeur à saisir. La valeur à saisir (et pas la valeur par défaut) sera multipliée par le nombre de réseaux du groupe identiques nb_{dist_2nd-e}. En usage d'habitation, les valeurs par défaut sont basées sur une surface de plancher moyenne de 80 m² et une longueur moyenne des tubes de distribution de 6m. Elles sont issues de la norme NF EN 15316-3-2, annexe D :

Si $\delta_{lvc} = 0$

- en usage d'habitation :

$$L_{vc\_2nd-e} = 6 * \frac{A^{gr,em-e}}{80} \quad (1783)$$

- pour les autres usages :

$$L_{vc\_2nd-e} = 0.05 * A^{gr,em-e}$$

Sinon $\delta_{lvc} = 1$, L_{vc_2nd-e} est une donnée d'entrée.

9.7.3.1.4 Les volumes du réseau de distribution d'ECS interne au groupe

A partir des longueurs précédemment calculées, nous déduisons les volumes de la distribution en local chauffé ou hors local chauffé, V_{vc_2nd-e} et V_{hvc_2nd-e}, exprimés en litres :

$$V_{vc\_2nd-e} = \left(L_{vc\_2nd-e} \times \frac{\pi . D^2_{\text{int\_2nd-e}}}{4}\right) \times 1000$$
$$V_{hvc\_2nd-e} = \left(L_{hvc\_2nd-e} \times \frac{\pi . D^2_{\text{int\_2nd-e}}}{4}\right) \times 1000 \quad (1784)$$

Où D_{int_2nd-e} est le diamètre intérieur de la distribution du groupe pour l'ECS (ici exprimé en m).

9.7.3.1.5 Les pertes du réseau de distribution d'ECS du groupe

La durée des puisages d'ECS est relativement courte. Lors d'un puisage, la distribution va être maintenue à la températureθ_{2nd-e} θ_{2nd-e}. Après un puisage, tout le volume d'eau chaude contenu dans la distribution va progressivement se refroidir jusqu'à atteindre la température ambiante. Si deux puisages sont suffisamment rapprochés, le volume d'eau chaude n'aura pas le temps de se refroidir.

Partant de ce constat, les règles Th-BCE, pour lesquelles le pas de temps est horaire, adoptent les conventions suivantes :

- lors d'un pas de temps avec puisages d'ECS, les pertes thermiques sont calculées à partir des caractéristiques géométriques de la distribution, de la capacité calorifique volumique de l'eau, de la température de distribution et du nombre de bouchons d'eau froide -eau chaude contenue dans la distribution et qui s'est refroidie- en une heure (paramètre conventionnel et dépendant de l'usage) ;

- au pas de temps consécutif à un puisage, le calcul des pertes est identique mais avec un nombre de bouchons d'eau froide plus faible ;

- en l'absence de puisages au cours du pas de temps, l'eau est revenue à température ambiante, les pertes sont supposées nulles.

Ces notions sont exprimées par les variables suivantes :

- $nb_{bouchons}$ est le nombre de bouchons d'eau froide par heure de la distribution d'ECS. Sa valeur est conventionnelle et dépend des usages (voir ci-dessous)

	Usage	***$nb_{bouchons}$ (nombre de bouchons par* heure de puisage)**
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle ou accolée	**3**
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	**3**
4	Enseignement primaire	**2**
5	Enseignement secondaire (partie jour)	**3**
16	Bureaux	**2**

Tableau 280 : valeurs conventionnelles du nombre de bouchons d'eau froide d'une distribution d'ECS du groupe

- $Is_{successif}$ prend en compte le fait que deux puisages rapprochés généreront moins de déperditions puisque l'eau chaude n'aura pas le temps de se refroidir entièrement.

$Is_{successif}$ = 1 si $Q_w^{gr,em-e}(h-1) = 0$ et $Q_w^{gr,em-e}(h) \neq 0$

$= \frac{nb_{bouchons}-1}{nb_{bouchons}}$ si $Q_w^{gr,em-e}(h-1) \neq 0$ et $Q_w^{gr,em-e}(h) \neq 0$ (1785)

= 0 sinon (pas de pertes)

Calcul des pertes de distribution

La quantité d'énergie (en Wh) contenue dans le réseau de distribution ECS du groupe, respectivement en volume chauffé et hors volume chauffé, qui sera perdue au cours du pas de temps *h*, s'exprime donc de la manière suivante :

$$\phi_{pertes\_vc\_2nd-e}(h) = \begin{pmatrix} \rho_w \cdot C_w \cdot V_{vc\_2nd-e} \times (\theta_{2nd-e} - \theta_i(h)) \\ \times nb_{bouchons} \times Is_{successif}(h) \times nb_{dist\_2nd-e} \end{pmatrix} \quad (1786)$$

$$\Phi_{pertes\_hvc\_2nd-e}(h) = \begin{pmatrix} \rho_w \cdot C_w \cdot V_{hvc\_2nd-e} \\ \cdot max\left(0; \left(\theta_{2nd-e} - (b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_i(h))\right)\right) \\ \times nb_{bouchons} \times Is_{successif}(h) \times nb_{dist\_2nd-e} \end{pmatrix} \quad (1787)$$

nb_{dist_2nd-e} est le nombre de distributions du groupe dédiées à l'ECS strictement identiques, possédant les mêmes caractéristiques géométriques (longueurs L_{vc_2nd-e} et L_{hvc_2nd-e}, diamètre de canalisation D_{int_2nd-e}) et connectées au même émetteur ECS équivalent.

9.7.3.1.6 Calcul des besoins en énergie augmentés des pertes du réseau de distribution du groupe pour l'ECS

La demande en énergie (en Wh) au point d'entrée du réseau de distribution du groupe pour l'ECS est finalement la suivante :

$$Q_{w\_2nd-e}(h) = Q_w^{gr,em-e}(h) + \phi_{pertes\_vc\_2nd-e}(h) + \phi_{pertes\_hvc\_2nd-e}(h) \quad (1788)$$

9.8 C_DIS_Distribution_ECS_intergroupe

9.8.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit le modèle du réseau de distribution intergroupe de l'eau chaude sanitaire. Ce réseau, relié en amont à la génération et en aval à un (ou plusieurs) réseau(x) de distribution internes au groupe, peut être commune à plusieurs bâtiments.

Les caractéristiques principales d'un réseau sont ses pertes (en W/K, dont une partie seulement est récupérable par un groupe), sa température et les consommations de ses auxiliaires.

9.8.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 281 donne la nomenclature des différentes variables du modèle des distributions intergroupes d'ECS.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
ET	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur	°C
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
	$b_{therm}(h)$	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon.	Réel
	$Usage_{zone}$	Usage de la zone	-
Em-e	$A^{gr,em-e}$	Surface d'un groupe desservie par un émetteur ECS équivalent relié à cette distribution intergroupe	m²
	$Q_{w\_2nd-e}^{ds-e}(h)$	Besoins ECS en entrée majorés des pertes de distribution interne au groupe	Wh
	θ_{2nd-e}^{ds-e}	Température du réseau d'ECS interne au groupe	°C
	$\theta_{b4}^{centr}(h-1)$	Température de la zone supérieure du ballon centralisé au début du pas de temps (pour les PCAD)	°C
	$i_{ecs}^{ds-e}(j)$	Indicateur qui précise, pour chaque distribution du groupe, si le jour *j* est inclus dans la période de fonctionnement de la génération ECS.	entier

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$L_{vc\_prim\_bcl-e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe bouclé en volume chauffé	m	0	+∞	-
$L_{hvc\_prim\_bcl-e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe bouclé hors volume chauffé	m	0	+∞	-
$L_{vc\_prim\_trac-e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe tracé en volume chauffé	m	0	+∞	-
$L_{hvc\_prim\_trac-e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe tracé hors volume chauffé	m	0	+∞	-
U_{prim-e}	Coefficient de transfert thermique linéique spécifique de la distribution intergroupe d'ECS	W/mK	0	+∞	-
$Is_{rechauf\_bcl-e}$	Présence d'un réchauffeur de boucle (=0 pas de réchauffeur / =1 présence d'un réchauffeur). Uniquement pour les réseaux bouclés.	-	0	1	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Type_{réseauintergroupe-e}$	Type du réseau de distribution intergroupe ECS (=0 si pas de réseau intergroupe /=1 si bouclé / =2 si tracé)	-	0	2	-
$Type_{gest\_circ-e}$	Type de gestion des circulateurs du réseau de distribution intergroupe d'ECS (=0 si pas de gestion / =1 si arrêt des circulateurs en vacances)	-	0	1	-
P_{circ-e}	Puissance des circulateurs du réseau intergroupe	W	0	+∞	-

bouclé d'ECS

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{w\_prim\text{-}e}(h)$	Besoins ECS majorés des pertes de distribution du groupe et intergroupe	Wh
$\theta_{moy\_prim\text{-}e}$	Température moyenne du réseau de distribution intergroupe d'ECS	°C
$W_{aux\_prim\text{-}e}^{dp\text{-}e}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale	Wh
$W_{aux\_prim\text{-}e,gr}^{dp\text{-}e}$	Consommation électrique des auxiliaires (circulateurs, traceurs) de distribution intergroupe d'ECS, en énergie finale, répartie au niveau du groupe	Wh
$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
$\Phi_{aux\_vc}(h)$	Consommations d'énergie des circulateurs transmise au volume chauffé sous forme de chaleur au pas de temps *h*.	Wh
$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$\Phi_{pertes\_hvc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires hors volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
$id_{encl\text{-}e}\ (j)$	Indicateur qui précise si le jour *j* est inclus dans la période de fonctionnement de la génération	entier
$Rat_{besoins\_prim\_e}^{gr}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un groupe relié à ce réseau intergroupe sur la somme de tous les besoins d'ECS de ce réseau intergroupe	-
$Rat_{surfaces\_prim\_e}$	Ratio de la surface des émetteurs ECS équivalents d'un groupe reliés à ce réseau intergroupe d'ECS sur la somme des surfaces de tous les émetteurs ECS équivalents reliés à ce réseau intergroupe d'ECS	-
A_{dess_e}	Surface totale des émetteurs desservis par cette distribution intergroupe	m²

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{départ\_prim\text{-}e}$	Température de la boucle départ du réseau intergroupe de distribution d'ECS	°C
$\theta_{retour\_prim\text{-}e}$	Température de la boucle retour du réseau intergroupe de distribution d'ECS	°C
$L_{vc\_prim\text{-}e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe en volume chauffé	m
$L_{hvc\_prim\text{-}e}$	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe hors volume chauffé	m
$W_{circ\_prim\text{-}e}$	Consommation des circulateurs de la distribution intergroupe bouclée d'ECS	Wh
$W_{trac\_prim\text{-}e}$	Consommation des traceurs de la distribution intergroupe tracée d'ECS	Wh
ds-e	Caractérise la distribution du groupe d'ECS	-
dp-e	Caractérise la distribution intergroupe d'ECS	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$P_{circ\_vc\text{-}e}$	Part de la puissance des auxiliaires de distribution intergroupe ECS transmise sous forme de chaleur, récupérable par l'ambiance	-	0
$Fonction_{prim}$	Identificateur de la distribution : Chauffage(1), froid(2), ECS(3)	-	

Tableau 281 : Nomenclature du modèle

9.8.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Cette partie établit pour chaque réseau de distribution :

- les pertes thermiques de distribution ;

- les températures départ et retour ;

- les consommations des auxiliaires de distribution ;

- les besoins d'ECS majorés des pertes de distribution, c'est-à-dire aux bornes de la génération.

9.8.3.1 *Principes et définition*

Un réseau intergroupe est obligatoirement relié, en aval, à au moins un réseau de distribution interne à un groupe et en amont à une seule génération (dans laquelle au moins un générateur produira de l'ECS).

Le réseau intergroupe d'ECS est maintenu en température afin de réduire le temps d'attente de l'eau chaude aux émetteurs. La consommation d'énergie supplémentaire engendrée par le maintien en température est autorisée par le fait que le confort de l'occupant est significativement amélioré.

9.8.3.2 *Calculs des indicateurs de la distribution intergroupe ECS*

Caractérisation

Tous les réseaux de distribution sont identifiés par le paramètre $Fonction_{prim}$. Pour l'ECS, on pose :

$$Fonction_{prim} = 3 \quad (1789)$$

Fonctionnement

Le réseau de distribution intergroupe d'ECS fonctionne dès que l'un des réseaux internes au groupe qui lui sont reliés est en fonctionnement.

S'il existe $ds - e \in dp - e$ tel que $i_{ecs}^{ds-e}(h) > 0$

$$id_{encl\text{-}e}(j) = 1 \quad (1790)$$

Sinon,

$$id_{encl\text{-}e}(j) = 0$$

Répartition des pertes de distribution dans les groupes

Chaque groupe desservi (totalement ou en partie) par ce réseau intergroupe peut récupérer les pertes thermiques en volume chauffé. Ces dernières seront réparties dans chacun des groupes desservis au prorata des surfaces $A^{gr,em\text{-}e}$.

$$Rat_{surfaces\_prim\_e}^{gr}(h) = \frac{\sum_{em-e \in gr \quad em-e \in dp-e} A^{gr,em-e}}{A_{dess\_e}} \quad (1791)$$

Avec

$$A_{dess\_e} = \sum_{em-e \in dp-e} A^{gr,em-e} \quad (1792)$$

Répartition des besoins par groupe

Plusieurs distributions du groupe, pouvant appartenir à des groupes différents, peuvent être reliées à une même distribution intergroupe. L'indicateur $Rat_{besoins\_prim-e}$ exprime le pourcentage des besoins d'ECS de chaque groupe par rapport au besoin total de la distribution intergroupe.

$$Rat^{gr}_{besoins\_prim\_e}(h) = \frac{\sum_{ds-e \in gr} Q^{ds-e}_{w\_2nd-e}(h)}{\sum_{ds-e \in dp-e} Q^{ds-e}_{w\_2nd-e}(h)} \quad (1793)$$

Note : si tous les besoins d'ECS des distributions du groupe $Q^{ds-e}_{w\_2nd-e}(h)$ sont nuls, on posera $Rat^{gr}_{besoins\_prim\_e}(h) = Rat^{gr}_{surfaces\_prim\_e}(h)$.

9.8.3.3 *La distribution intergroupe bouclée (type_réseau_intergroupe-e=1)*

9.8.3.3.1 Températures de la distribution bouclée

9.8.3.3.1.1 Boucle départ

La température de départ de la distribution bouclée est égale à la température maximale demandée par les réseaux secondaires. Elle est supposée constante dans toute la boucle de départ.

$$\theta_{départ\_prim-e} = \max_{ds-e}\left(\theta^{ds-e}_{2nd-e}\right) \quad (1794)$$

Dans le cas d'une production d'ECS centralisée à appoints décentralisés avec distribution intergroupe (CESCAI,…), la température de départ du réseau intergroupe est égale à la température de la zone supérieure du ballon central au début du pas de temps. Cette température est dynamique.

$$\theta_{départ\_prim-e}(h) = \theta^{centr}_{b4}(h-1) \quad (1795)$$

Le reste des calculs est identique.

9.8.3.3.1.2 Boucle retour

La température de retour est supposée inférieure de 5 K à la température de départ :

$$\theta_{retour\_prim-e} = \theta_{départ\_prim-e} - 5 \quad (1796)$$

9.8.3.3.1.3 Température moyenne de la boucle

$$\theta_{moy\_prim-e} = \left(\frac{\theta_{départ\_prim-e} + \theta_{retour\_prim-e}}{2}\right) \quad (1797)$$

9.8.3.3.2 Pertes thermiques de la distribution bouclée

Les pertes de distribution intergroupe sont calculées de la manière suivante. Pour les pertes hors

volume chauffé, le coefficient b_{therm} corrige l'écart de température entre le réseau et l'extérieur, dans le cas où la distribution traverse un espace tampon.

$$\varphi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) = U_{prim-e} \times L_{vc\_prim-e} \times (\theta_{moy\_prim-e} - \theta_{amb}) \times i_{dencl-e}(j)$$

$$\varphi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h) = \begin{pmatrix} U_{prim-e} \times L_{hvc\_prim-e} \times i_{dencl-e}(j) \times \\ (\theta_{moy\_prim-e} - (\theta_{amb} + b_{therm}(h) \times (\theta_{ext}(h) - \theta_{amb}))) \end{pmatrix} \quad (1798)$$

Avec

$$\begin{cases} \theta_{amb} = 20°C \\ L_{vc\_prim-e} = L_{vc\_prim\_bcl-e} \\ L_{hvc\_prim-e} = L_{hvc\_prim\_bcl-e} \end{cases} \quad (1799)$$

Note : les longueurs d'un réseau intergroupe bouclé sont environ deux fois plus importantes que celles d'un réseau tracé.

9.8.3.3.3 Consommation électrique du réchauffeur de boucle

Un réchauffeur de boucle compense les pertes du réseau de distribution intergroupe bouclé en fournissant de l'énergie électrique (en Wh). Sa consommation est la suivante :

Si $Is_{rechauf\_bcl-e}$ =0

$$W_{rechauf\_prim-e}(h) = 0 \quad (1800)$$

Si $Is_{rechauf\_bcl-e}$ =1

$$W_{rechauf\_prim-e}(h) = \phi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) + \phi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h)$$

9.8.3.3.4 Consommation électrique des circulateurs

Pour maintenir le fluide en circulation (le débit sera supposé constant) en vainquant les pertes de charge du système de distribution de l'eau chaude sanitaire, des circulateurs sont indispensables. La puissance des circulateurs est un paramètre intrinsèque du réseau de distribution. La consommation d'énergie électrique des circulateurs (en Wh) peut être estimée à partir de cette puissance.

Pour les usages d'enseignement, nous supposerons que les circulateurs peuvent être arrêtés durant les vacances. Pour les autres usages, le fonctionnement des circulateurs est permanent, pour limiter le risque de développements bactériens.

La consommation électrique horaire des circulateurs s'exprime de la façon suivante :

Si $type_{gest\_circ\ -e}$ =1

si $i_{d\_encl-e}(j)$=1

$$W_{circ\_prim-e}(h) = P_{circ-e}(* 1h) \quad (1801)$$

si $i_{d\_encl-e}(j)$=0

$$W_{circ\_prim-e}(h) = 0$$

Si $type_{gest\_circ\ -e}$=0

$$W_{circ\_prim-e}(h) = P_{circ-e}(*\ 1h) \quad (1802)$$

Pour une distribution bouclée, la consommation des auxiliaires de distribution, exprimée en énergie finale, est égale à celle des circulateurs.

$$W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) = W_{circ\_prim-e}(h) \quad (1803)$$

Et pour chaque groupe,

$$W_{aux\_prim-e}^{dp-e,gr}(h) = W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) * Rat_{surfaces\_prim\_e}^{gr}(h) \quad (1804)$$

9.8.3.3.5 Pertes thermiques transmises à l'ambiance

Nous faisons les hypothèses suivantes :

- il n'y a pas de transmission, sous forme de chaleur, de la puissance dégagée par les auxiliaires de circulation au fluide de la distribution ;
- si le fluide de la distribution intergroupe n'est pas en circulation (lors des vacances de la zone d'enseignement), les pertes thermiques dans la distribution sont négligées.

La part de la consommation d'énergie des auxiliaires transmise à l'ambiance (en Wh) se calcule comme suit :

$$\Phi_{aux\_vc}(h) = P_{circ\_vc-e} * W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) \quad (1805)$$

Conventionnellement, on considèrera que la part de la consommation d'énergie P_{circ_vc-e} est nulle.

9.8.3.3.6 Calcul des besoins d'ECS augmentés des pertes du réseau intergroupe

La demande en énergie (en Wh) au point d'entrée du réseau intergroupe bouclé (c'est-à-dire aux bornes de la génération) est la suivante :

Si $Is_{rechauf\_bcl-e}$ =0

$$Q_{w\_prim-e}(h) = \sum_{ds-e} Q_{2nd-e}^{ds-e}(h) + \phi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) + \phi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h) \quad (1806)$$

Si $Is_{rechauf\_bcl-e}$ =1

$$Q_{w\_prim-e}(h) = \sum_{ds-e} Q_{2nd-e}^{ds-e}(h)$$

9.8.3.4 *La distribution intergroupe tracée (type_réseau_intergroupe-e=2)*

La distribution collective avec traçage est constituée une conduite d'eau chaude avec un traceur en fonctionnement permanent. Le réseau tracé ne comporte pas de circulateurs. Le traceur ne contribue pas à la génération.

Les pertes thermiques sont compensées par le traceur par effet Joule direct et ne sont donc pas ajoutées aux pertes thermiques du réseau de distribution d'eau chaude sanitaire.

9.8.3.4.1 Calcul des températures de la distribution tracée

9.8.3.4.1.1 Branche départ

Par hypothèse, la température de départ de la distribution tracée est égale à la température maximale demandée par les réseaux internes aux groupes. Elle est supposée constante dans toute la branche de départ.

$$\theta_{départ\_prim-e} = \max_{ds-e}\left(\theta_{2nd-e}^{ds-e}\right) \quad (1807)$$

9.8.3.4.1.2 Branche retour

Dans la réalité, il n'y a pas de branche retour dans un réseau tracé. A la place de l'eau de la branche retour, le générateur reçoit de l'eau froide à la température θ_{cw}, donnée dans le fichier météorologique de la zone climatique.

$$\theta_{retour\_prim-e} = \theta_{cw}(h) \quad (1808)$$

9.8.3.4.1.3 Température moyenne de la distribution

Dans le cas d'une distribution intergroupe tracée, la température moyenne s'exprime de la manière suivante :

$$\theta_{moy\_prim-e} = \theta_{départ\_prim-e} \quad (1809)$$

9.8.3.4.2 Pertes thermiques de la distribution tracée

Les pertes de distribution intergroupe d'ECS sont caractérisées par un coefficient de déperdition thermique (en W/m.K), une longueur de canalisation et un écart de température.

Pour les pertes hors volume chauffé, le coefficient b_{therm} corrige l'écart de température entre le réseau et l'extérieur, dans le cas où la distribution traverse un espace tampon.

$$\phi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) = U_{prim-e} \times L_{vc\_prim-e} \times (\theta_{départ\_prim-e}(h) - \theta_{amb}) \times i_{dencl-e}(j)$$

$$\phi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h) = \begin{pmatrix} U_{prim-e} \times L_{hvc\_prim-e} \times i_{dencl-e}(j) \times \\ (\theta_{départ\_prim-e} - (\theta_{amb} + b_{therm}(h) \times (\theta_{ext}(h) - \theta_{amb}))) \end{pmatrix} \quad (1810)$$

Avec

$$\begin{cases} \theta_{amb} = 20°C \\ L_{vc\_prim-e} = L_{vc\_prim\_trac-e} \\ L_{hvc\_prim-e} = L_{hvc\_prim\_trac-e} \end{cases} \quad (1811)$$

Ces pertes thermiques, compensées par le ruban chauffant, ne sont pas ajoutées aux pertes thermiques des distributions d'eau chaude sanitaire du groupe. Le ruban chauffant est alimenté électriquement et il convient donc de le considérer comme un auxiliaire.

9.8.3.4.3 Consommation électrique des traceurs

La consommation électrique des traceurs (en Wh) compense les pertes de distribution :

$$W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) = W_{trac\_prim-e}(h) = \Phi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) + \Phi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h) \quad (1812)$$

Et pour chaque groupe,

$$W_{aux\_prim-e}^{dp-e,gr}(h) = W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) * Rat_{surfaces\_prim\_e}^{gr}(h) \quad (1813)$$

La part de la consommation d'énergie des auxiliaires transmise à l'ambiance (en Wh) se calcule comme suit :

$$\Phi_{aux\_vc}(h) = P_{circ\_vc-e} * W_{aux\_prim-e}^{dp-e}(h) \quad (1814)$$

Conventionnellement, on considèrera que la part de la consommation d'énergie P_{circ_vc-e} est nulle.

9.8.3.4.4 Calcul des besoins d'ECS augmentés des pertes du réseau intergroupe

La demande en énergie (en Wh) du réseau intergroupe tracé est identique à la somme des demandes des réseaux internes aux groupes pour les raisons évoquées ci-dessus :

$$Q_{w\_prim-e} = \sum_{ds-e} Q_{2nd-e}^{ds-e}(h) \quad (1815)$$

9.8.3.5 *En absence de réseau intergroupe (type_réseau_intergroupe-e=0)*

Les températures sont celles en sortie du (ou des) réseau(x) interne(s) au groupe.

$$\theta_{départ\_prim-e} = \max_{ds-e}\left(\theta_{2nd-e}^{ds-e}\right)$$

$$\theta_{retour\_prim-e} = \theta_{cw}(h) \quad (1816)$$

$$\theta_{moy\_prim-e} = \theta_{départ\_prim-e}$$

Les pertes de distribution intergroupe sont nulles :

$$\varphi_{pertes\_vc\_prim-e}(h) = 0$$
$$\varphi_{pertes\_hvc\_prim-e}(h) = 0 \quad (1817)$$

Les besoins d'ECS en entrée du réseau intergroupe sont identiques à ceux en sortie du (ou des) réseau(x) du groupe :

$$Q_{w\_prim-e} = \sum_{ds-e} Q_{2nd-e}^{ds-e}(h) \quad (1818)$$

La consommation des auxiliaires de distribution intergroupe d'ECS est nulle.

$$W_{aux\_prim-e}^{dp-e} = W_{aux\_prim-e}^{dp-e,gr} = 0$$

$$\Phi_{aux\_vc} = 0 \quad (1819)$$

9.9 C_STO_Ballon_de_stockage

9.9.1 INTRODUCTION

Un élément central des systèmes de production d'eau chaude à accumulation est le ballon d'eau chaude pouvant comporter un ou plusieurs échangeurs de chaleur, et dont un modèle est décrit ici.

Le modèle comporte quatre zones, chacune supposée à température uniforme.

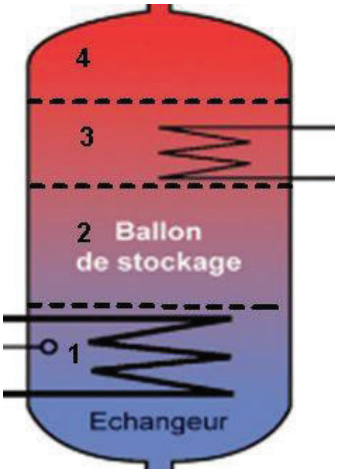


Figure 183 : schéma du ballon à quatre zones

La zone 1 comporte l'arrivée d'eau froide et l'échangeur du générateur de base. La zone 2 comporterait un échangeur raccordé au circuit de chauffage dans le cas d'un système solaire combiné. Dans le cas d'un ballon à appoint intégré, l'échangeur ou la résistance électrique d'appoint se situe généralement dans la zone 3. La zone 4 est celle de la sortie d'eau chaude.

9.9.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 282 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de ballon. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation. L'indice i représente quant à lui l'itération de puisage d'eau dans le ballon en cours, dans la logique d'un puisage itératif.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Ech. interne	$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante (de l'endroit où est le ballon, déterminée au niveau de la génération)	°C
	$Q_{inj[z]}(h)$ $Q_{prel[z]}(h)$	Quantité d'énergie injectée (>0) ou prélevée (<0) par un échangeur à la zone d'indice z	Wh
	$Q_{fou,sto,base}(h)$	Quantité d'énergie totale injectée dans le ballon par le générateur de base au pas de temps h	Wh
	Nb_{iter_vp}	Nombre d'itérations de la boucle pour le calcul du volume puisé total du ballon	-
	$V_p(h)$	Volume puisé au pas de temps h	L
	$\theta_{entrant,ecs}(h)$	Température de l'eau entrant dans le ballon (piquage retour ECS)	°C
	$\theta_{entrant,ch}(h)$	Température de l'eau entrant dans le ballon (piquage retour chauffage)	°C
	$\theta_{injecte,base}(h)$	Température de l'eau injectée par le générateur de base en partie haute du ballon (le cas échéant)	°C
	$z_{\_bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur interne (le cas échéant)	Ent
	$z_{\_haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur interne (le cas échéant)	Ent

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
N_{zone}	Nombre de zones dans le ballon	-	0	+ ∞	4
V_{tot}	Volume total du ballon	L	0	+ ∞	-
V_z	Volume de la zone *z* du ballon (*z* de 1 à 4, V_z est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L	0	V_{tot}	-
f_{aux}	Fraction effective concernée par l'appoint pour les ballons base+appoint (avec appoint en zone n°3)	-	0	1	-

$(UA)_s$	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	0	+ ∞	-
θ_{max}	Température maximale du ballon	°C	0	100	-
z_{base}	Numéro de la zone la plus basse contenant l'échangeur du générateur de base	-	1	N_{zone}	-
z_{ap}	Numéro de la zone la plus basse contenant l'échangeur du générateur d'appoint	-	1	N_{zone}	-
$hrel_{ech\_base}$	Hauteur (relative) de l'échangeur du générateur de base à partir du point inférieur de la zone z_{base}.	-	0	1	-
$hrel_{ech\_ap}$	Hauteur (relative) de l'échangeur du générateur d'appoint à partir du point inférieur de la zone z_{ap}.	-	0	1	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
id_fou_sto	Indicateur des services assurés par le ballon : 1 : chauffage, 3 : ECS 4 : chauffage et ECS.	Ent	0	4	
Statut_UA	La valeur du coefficient de pertes thermiques du stockage vers l'ambiance est une donnée : 0 - Certifiée 1 - Justifiée par un essai effectué par un laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO 2 - Par défaut	-	0	2	-
Statut_faux	Statut de la donnée faux : 1 : valeur à saisir 2 : valeur par défaut	-	1	2	-
Is_Principal	Indicateur précisant si il s'agit du ballon principal ou du ballon d'appoint : *0 : Ballon principal* *1 : Ballon d'appoint (secondaire)*	Ent	0	1	
$Type_{Raccordement\_Base\_Ballon}$	Type de raccordement du générateur de base au ballon de stockage : *0 : Echangeur en partie basse* *1 : Piquages haut et bas*	Ent	0	1	
$z_{inj,ch}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle l'eau en provenance du retour de la distribution de chauffage est injectée	-	1	4	-
$z_{inj,ecs}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle l'eau froide sanitaire est injectée (ou l'eau en provenance d'un échangeur externe de production ECS, ou ou encore celle d'un réseau bouclé)	-	1	4	1

$z_{p,ch}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle le puisage chauffage a lieu (piquage départ)	-	1	4	-
$z_{p,ecs}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle le puisage ECS a lieu (piquage départ)	-	1	4	4
$z_{p,base}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle l'eau est prélevée pour être réchauffée par le générateur de base	-	1	4	1
$Z_{inj,base}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle l'eau est injectée après avoir été réchauffée par le générateur de base	-	1	4	4

Sorties

Nom	Description	Unité
V_{zmin}	Volume minimal de zone	m^3
$\theta_{bz}(h)$	Températures des zones du ballon à la fin du pas de temps *h*	°C
$\phi_{pertes}(h)$	Pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps *h*	W
$\theta_{b\_moy\_ech}(h)$	Température moyenne du ballon vue par l'échangeur d'un générateur (base ou appoint)	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité
U_z	Coefficient de pertes de la zone z du ballon (U_z est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	W/K
$(UA)_{s\_util}$	Coefficient de pertes thermiques du ballon recalculé selon son statut (certifié, déclaré ou justifié)	W/K
$\phi_{pertes,,z}$	Pertes thermiques de la zone z du ballon	W
$\theta_{bz}(Nb_{iter\_vp})$	Températures du ballon à la fin de la boucle itérative pour le calcul du volume puisé	°C
$\overline{\theta_{bz}}$	Moyenne temporelle de la température de la zone n°1 du ballon entre la fin du pas de temps précédent et la fin de la boucle de puisage du pas de temps courant	°C
$\theta_{b[z]}(h-1)$	Températures des zones du ballon au pas de temps précédent	°C
z_{ech}	Numéro de la zone la plus basse contenant l'échangeur du générateur (de base ou d'appoint)	-
z_{max_ech}	Numéro de la zone la plus haute contenant l'échangeur du générateur (de base ou d'appoint)	-
$hrel_{ech}$	Hauteur relative de l'échangeur du générateur (de base ou d'appoint)	-
$hrel_{rest}$	Hauteur relative de l'échangeur restante dans la zone z_{max_ech} du ballon de stockage	-

V_{ap}	Volume de la partie du ballon chauffée par l'appoint (dans le cas où l'appoint est en zone n°3, sinon volume des deux zones supérieures du ballon)	L
$V_p(h)$	Volume horaire puisé (à chaque itération, n'excède pas le volume de la zone la plus petite)	m^3
Nb_{iter_vp}	Nombre d'itérations de la boucle pour le calcul du volume puisé total du ballon	-
a	Numéro de la zone du ballon pour laquelle on compare sa température avec toutes celles des zones qui lui sont supérieures	-
i	Itération au cours d'un pas de temps h	-
i_{fin}	Dernière itération du pas de temps h	-
Qpr	Pertes thermiques du ballon de stockage par défaut sur 24h.	kWh/jour

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

Tableau 282 : Nomenclature des différentes variables du modèle de ballon

9.9.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

9.9.3.1 ***Types de ballon***

Un ballon est décrit par $N_{zone} = 4$ zones. Une zone est caractérisée par un volume V_z et un coefficient de perte U_z, $z = 1 \ldots N_{zone}$. La répartition en volume des zones dépend du type de ballon :

1. Si il n'y a qu'une puissance injectée dans le ballon (ballon base seule par exemple) $V_z = V_{tot}/N_{zone}$
2. S'il y a un système de chauffage d'appoint, on délimite deux zones supérieures de même volume à partir du paramètre f_{aux} : $V_4 = V_3 = f_{aux} \cdot V_{tot}/2 = V_{ap}/2$. Le volume des deux zones inférieures est $V_1 = V_2 = (1 - f_{aux}) \cdot V_{tot}/2$.

La valeur par défaut du f_{aux} (c'est-à-dire si *statut_faux*=2) est égale à 0,5.

Dans la méthode de calcul Th-BCE, la donnée d'entrée est le coefficient de pertes thermiques du ballon, UA_S [W/K].

Pour les ballons la méthode de calcul offre trois alternatives pour la définition du coefficient UA_S, à partir des pertes selon les cas :

- La saisie directe de la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes harmonisées relatives au produit concerné, voir Tableau 283 et Tableau 284

$$UA_{S\_util} = UA_S \quad (1820)$$

- La saisie de la valeur justifiée, augmentée de 10%, par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes harmonisées relatives au produit concerné, voir Tableau 283 et Tableau 284,

$$UA_{S\_util} = 1{,}1 \times UA_S \quad (1821)$$

- Par défaut, les valeurs indiquées dans le Tableau 283 et dans le Tableau 284 sont retenues selon le type de ballon.

Nature du ballon	Valeurs par défaut pertes : Qpr [kWh/jour]	Normes de détermination des pertes des ballons
ballon ECS effet Joule horizontal vertical de volume supérieur ou égal à 75 l vertical de volume inférieur à 75 l	$Qpr = 0{,}939 + 0{,}0104\ V_{tot}$ $Qpr = 0{,}224 + 0{,}0663\ V_{tot}^{2/3}$ $Qpr = 0{,}1474 + 0{,}0719 V_{tot}^{2/3}$	NF EN 60379
autres ballons	$Qpr = 0{,}189\ .\ V_{tot}^{0{,}55}$	NF EN 15332

Tableau 283 : Valeurs par défaut et normes de détermination des pertes des ballons

Avec

$$UA_{s\_util} = Qpr * \frac{1000}{45 * 24} \quad (1822)$$

Nature du ballon	Valeur par défaut coefficient de pertes thermiques UA [W/K]	Normes de détermination des pertes des ballons
Ballon solaire	UA_{S_util} = 0,16 $V_{tot}^{0,5}$	EN 12977-3

Tableau 284 : Valeurs par défaut et normes de détermination des pertes des ballons

Le coefficient de pertes du ballon est réparti proportionnellement entre les zones

$$U_z = UA_{S\_util} \cdot \frac{V_z}{V_{tot}} \quad (1823)$$

9.9.3.2 *Calcul des températures de chaque zone*

Les algorithmes du ballon s'organisent en trois étapes :

1. Calcul des apports et des pertes pour chaque zone avec les températures de la fin du pas de temps précédent ;
2. Calcul des températures de chaque zone après puisage et application des apports et des pertes ;
3. Mélange éventuel de zones si la température d'une zone devient supérieure à celle de la zone au-dessus.

Selon les modes de production d'ECS, chacune de ces trois étapes peut être répétée plusieurs fois.

9.9.3.2.1 Calcul des apports et des pertes

Ces calculs interviennent au début du pas de temps.

Apports (ou prélèvements)

Les apports sont les énergies injectées (ou prélevées) par des échangeurs hydrauliques ou des résistances électriques. Ces apports peuvent être positifs ou négatifs. Suivant les cas, un ballon peut être associé à une boucle solaire, une boucle de chauffage, etc. …

Chaque zone du ballon z peut-être connectée à un échangeur et recevoir une énergie $Q_{i,z}$.

Pertes

Les pertes sont les pertes thermiques du ballon vers l'air ambiant. Les pertes de la zone z sont données par l'équation :

$$\Phi_{pertes,z}(h) = U_z \cdot (\theta_{bz}(h-1) - \theta_{amb}(h)) \quad (1824)$$

Les pertes du ballon sont la somme des pertes des zones. Elles seront récupérables si la génération à laquelle le ballon appartient est en volume chauffé.

$$\Phi_{pertes}(h) = \sum_z \Phi_{pertes,z}(h) \quad (1825)$$

Note : au premier pas de temps de la simulation, nous prendrons $\theta_{bz}(h-1)$ =50°C.

9.9.3.2.2 Boucle itérative de puisage (prélèvement d'énergie stockée)

Pour calculer l'impact d'un puisage d'eau chaude ou d'un prélèvement d'énergie stockée sur les températures dans le ballon, on utilise une boucle itérative à l'intérieur du pas de temps h. Cette boucle est nécessaire pour calculer la totalité du volume puisé dans le ballon en tenant compte de l'évolution des températures de chaque zone du ballon due à l'effet piston.

Dans le cas d'un ballon exploité à la fois pour l'ECS et pour le chauffage, on applique deux boucles itératives successives : d'abord celle relative au puisage ou prélèvement d'énergie stockée pour l'ECS, puis celle relative au prélèvement d'énergie stockée pour le chauffage.

Le principe de la boucle itérative et sa structure sont décrits dans la fiche C_STO_gestion_régulation_ballon.

A l'issue de chaque itération, on calcule les températures des différentes zones du ballon, en appliquant les paragraphes suivants :

9.9.3.2.2.1 Impact du prélèvement d'énergie stockée au cours de l'itération i sur les températures

Cas d'un puisage direct ou au travers d'un échangeur externe au ballon

Dans ce cas, le puisage peut être représenté par un effet piston, qui fait monter les volumes d'eau proportionnellement au volume puisé.

L'eau prélevée dans l'une des zones supérieures, dont le numéro est noté z_{p}. Ce numéro de zone peut être différent pour le service ECS et le service chauffage, on distingue donc deux paramètres : $z\_{p,ecs}$ et $z\_{p,ch}$.

De même, en compensation de l'eau prélevée, un volume équivalent d'eau est injecté dans une zone de retour de piquage ou d'entrée d'eau froide. Les numéros des zones où sont injectés ces volumes pour l'ECS et le chauffage sont notés $z\_{inj,ecs}$ et $z\_{inj,ch}$.

Conventionnement, pour la production ECS, le puisage a lieu dans la zone supérieure et l'injection dans la zone basse :

$$z\_{p,ecs} = 4$$
$$z\_{inj,ecs} = 1 \quad (1826)$$

Pour le chauffage, le paramétrage de $z\_{p,ch}$ et $z\_{inj,ch}$ est modifiable. Néanmoins, la contrainte suivante doit être respectée : $z\_{p,ch} \geq z\_{inj,ch}$. Si elle ne l'est pas, le message d'erreur suivant est lancé :

« *Ballon de stockage : l'indice de la zone de piquage départ $z\_{p,ch}$ ne peut pas être inférieur à l'indice de la zone de piqua retour $z\_{inj,ch}$. La saisie doit être modifiée.* »

Après un puisage ou un prélèvement d'énergie, la zone d'indice z_{inj} contient un mélange d'eau à la température de la zone à l'itération i – 1 et d'eau à la température d'eau entrante. D'où :

$$\theta_{bz,inj}(i) = \frac{\theta_{bz,inj}(i-1)\cdot(V_{z,inj}-V_P)+\theta_{entrant}(h)\cdot V_p}{V_{z,inj}} \quad (1827)$$

Dans le cas d'un puisage équivalent pour le chauffage, $\theta_{entrant}(h)$ est prise égale à $\theta_{entrant,ch}(h)$. Dans le cas d'un puisage ECS, $\theta_{entrant}(h)$ dépend de la possible présence de récupérateurs de chaleur sur les eaux grises :

Si $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Dans ce cas, la température entrante ne change pas, $\theta_{entrant}(h)$ est prise égale à $\theta_{entrant,ecs}(h)$.

Si $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ (récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froid) ou $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid), l'eau froide arrivant au ballon d'eau chaude a été préalablement préchauffée :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{prechauffee,ecs}(h) \quad (1828)$$

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ (récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs), le préchauffage de l'eau froide ayant eu lieu uniquement au niveau des mitigeurs, l'eau froide arrivant au ballon d'eau chaude n'est pas impactée :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{entrant,ecs}(h) \quad (1829)$$

Chaque zone d'indice z compris entre z_inj +1 et z_p contient un mélange du volume puisé à la température de la zone inférieure avec le reste de la zone. Cet effet est exprimé comme ci-dessous :

$$\theta_{bz}(i) = \frac{\theta_{bz}(i-1)\cdot(V_z - V_P) + \theta_{b(z-1)}(i-1)\cdot V_p}{V_z} \quad (1830)$$

Cas d'un échangeur interne au ballon (serpentin)

Dans ce cas de figure, le prélèvement d'énergie se fait sous la forme d'un transfert de chaleur entre une ou plusieurs des zones du ballon et l'échangeur interne qui la ou les traversent.

Pour chaque zone d'indice z compris entre *z_bas,ech et z_haut,ech :*

$$\theta_{b[z]}(i) = \theta_{b[z]}(i-1) - \frac{Q_{prel[z]}(i)}{\frac{1}{3600}\cdot V_{[z]}\cdot \rho_w \cdot c_w} \quad (1831)$$

Où $Q_{prel[z]}(i)$ représente la quantité d'énergie prélevée à la zone z par l'échangeur interne, calculée selon la fiche *C_STO_échangeur_ballon*.

9.9.3.2.2.2 Mélange de zones en cas d'inversion de température

Si une zone z est plus chaude que la zone supérieure $(z+1)$, les deux zones se mélangent. L'algorithme compare la température de la zone a à toutes celles des zones qui lui sont supérieures.

Initialisation : $a = 1$

Tant que le ballon ne respecte pas cette condition $\theta_{ba}(i) \leq \theta_{b(a+1)}(i) \leq \theta_{b(a+2)}(i) \leq \theta_{b(a+3)}(i)$

$$\text{si } \theta_{ba}(i) > \theta_{b(a+1)}(i) \text{ et } a+1 \leq N_{zones} \quad (1832)$$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} > \theta_{b(a+2)}(i) \text{ et } a+2 \leq N_{zones}$$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} > \theta_{b(a+3)}(i) \text{ et } a+3 \leq N_{zones}$$

$$\begin{cases} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \theta_{b(a+3)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+3} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+3} V_j} \\ puisa = 1 \end{cases}$$

$$\text{sinon} \begin{cases} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \dfrac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} \\ puis \quad a = 1 \end{cases}$$

$$\text{sinon} \begin{cases} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} \\ puisa = 1 \end{cases}$$

sinon $a = a + 1$

où les températures $\theta_{ba}(i)$ viennent de l'équation (1830).

On peut avoir des mélanges de 2, 3,… ou *N* zones selon les températures et volumes respectifs des zones, avec une limitation des températures de chaque zone à la température maximale du ballon.

Pour $z = 1..N_{zone}$

$$\theta_{bz}(i) = min(\theta_{bz}(i), \theta_{max}) \quad (1833)$$

La boucle itérative se termine ici. A la dernière itération de cette boucle, tout le volume est puisé dans le ballon, le champ des températures du ballon après puisage $\left(\theta_{bz}(Nb_{iter_vp})\right)$est connu.

9.9.3.2.3 Alerte sur le report d'énergie à l'issue du puisage

A l'issue de la boucle itérative de puisage, le nombre d'heures pendant lequel l'énergie reportée est non nulle s'exprime de la façon suivante :
Initialisation : $nbh_{report\_e} = 0$

Si $Q_{w\_sto\_unit\_report\_e}(h) \neq 0$

$$nbh_{report\_e}(h) = nbh_{report\_e}(h-1) + 1 \quad (1834)$$

Sinon

$$nbh_{report\_e}(h) = nbh_{report\_e}(h-1)$$

Si ce nombre dépasse 24, le moteur de calcul affichera une alerte.

9.9.3.2.4 Calcul de la température moyenne vue par un échangeur de charge (générateur de base ou d'appoint)

L'échangeur hydraulique du générateur de base et/ou du générateur d'appoint peut couvrir plusieurs zones du ballon. Sa hauteur est déterminée à partir du point le plus « bas » de la zone z_{base} pour l'échangeur du générateur de base et z_{ap} pour le générateur d'appoint. Quelle que soit la hauteur de l'échangeur, l'énergie est supposée être transférée au ballon dans cette même zone.

Autrement dit, la prise en compte de la hauteur de l'échangeur n'a d'impact que sur la température du ballon vue par l'échangeur (le condenseur pour les ballons thermodynamiques). Cette température se calcule de la

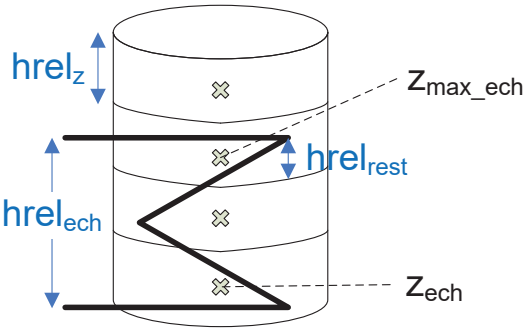
manière suivante :

Si le générateur est la base $\begin{cases} z_{ech} = z_{base} \\ hrel_{ech} = hrel_{ech\_base} \end{cases}$,

S'il est l'appoint, $\begin{cases} z_{ech} = z_{ap} \\ hrel_{ech} = hrel_{ech\_ap} \end{cases}$.

Initialisation : $z_{max\_ech} = 0$ et $hrel_{rest} = 0$

où z_{max_ech} est la zone du ballon la plus haute « vue » par l'échangeur ; $hrel_{rest}$ la hauteur relative restante dans la zone z_{max_ech}.
Et, pour tout $z \in [1, N_{zones}]$, $hrel_z = \frac{v_z}{V_{tot}}$



Calculs de z_{max_ech} et $hrel_{rest}$

Si $hrel_{ech} = 0$ (l'échangeur n'appartient qu'à une seule zone c'est-à-dire $hrel_{ech} \leq hrel_{(z_{ech})}$) (1835)

$$\begin{cases} z_{max\_ech} = z_{ech} \\ hrel_{rest} = hrel_{ech} \end{cases}$$

Sinon $hrel_{ech} \neq 0$
pour $j = [1, N_{zones} - z_{ech}]$

- si $hrel_{ech} \leq \sum_{z=z_{ech}}^{z_{ech}+j} hrel_z$

$$\begin{cases} z_{max\_ech} = z_{ech} + j \\ hrel_{rest} = hrel_{ech} - \sum_{z=z_{ech}}^{z_{max\_ech}-1} hrel_z \end{cases}$$

Sortie de la boucle

- sinon

si $j < N_{zones} - z_{ech}$ alors $j \leftarrow j + 1$. Sinon, il y a une erreur : la hauteur de l'échangeur est trop élevée. (1836)

Calcul de la température moyenne vue par l'échangeur

Si $hrel_{ech} = 0$ (1837)

$$\theta_{b\_moy\_ech}(h) = \overline{\theta_{b(z_{ech})}}$$

Sinon $hrel_{ech} \neq 0$ (1838)

$$\theta_{b\_moy\_ech}(h) = \frac{\left(\sum_{z=z_{ech}}^{z_{max\_ech}-1} hrel_z \cdot \overline{\theta_{bz}} + hrel_{rest} \cdot \overline{\theta_{b(z_{max\_ech})}}\right)}{hrel_{ech}}$$

Où $\overline{\theta_{bz}}$ est la moyenne temporelle des températures de la zone z au pas de temps précédent et après le puisage éventuel du pas de temps courant (c'est-à-dire après la boucle itérative pour le volume puisé et l'éventuel soutirage de chaleur pour le chauffage, mais avant l'injection de puissances).

$$\overline{\theta_{bz}} = \frac{(\theta_{bz}(h-1) + \theta_{bz}(i-1))}{2} \quad (1839)$$

9.9.3.2.5 Calcul des températures finales du ballon après puisage, avec apports et pertes

L'algorithme décrit dans le paragraphe ci-dessous intervient à l'issue de la boucle itérative de puisage. Il conclut le calcul des températures des différentes zones du ballon de stockage à l'issue du pas de temps en cours.

Même si elles n'appartiennent pas à la boucle itérative de puisage, les équations de ce paragraphe peuvent être utilisées plusieurs fois au cours d'un pas de temps (exemple des ballons base+appoint). Pour simplifier l'écriture, la même notation *i,* désignant une itération au cours d'un pas de temps, sera utilisée.

9.9.3.2.5.1 Cas d'un apport de chaleur par échangeur intégré au ballon

Dans le cas d'un apport de chaleur par un échangeur intégré au ballon, un flux $Q_{inj,z}$ est calculé pour chacune des zones du ballon. La température de chacune des zones est la résultante de ce flux et des pertes thermiques calculées précédemment au cours du pas de temps :

Pour $i \geq Nb_{iter\_vp}+1$

$$\theta_{bz}(i) = \theta_{bz}(i-1) + \frac{\left(Q_{inj,z} - \phi_{pertes,z}\right)}{\rho_w c_w V_z} \quad (1840)$$

Note : Pour ne pas prendre en compte plusieurs fois les pertes thermiques du ballon, dans certains cas les pertes $\phi_{\_pertes,z}$ pourront être mises à zéro dans l'équation ci-dessus. Cette hypothèse est précisée, le cas échéant, dans les fiches d'assemblages concernées.

9.9.3.2.5.2 Cas d'un apport de chaleur par piquage en partie haute du ballon (Type_Raccordement_Base = 1 : piquages haut et bas)

Ce cas de figure n'est applicable que si l'assemblage dans lequel est inclut le ballon n'est pas de type Base et appoint intégré ($Type_{prod\_stockage}$ différent de 2). En effet, l'algorithme ne s'applique que si l'ensemble des zones du ballon possède le même volume.

On commence par appliquer les pertes thermiques aux différentes zones du ballon avec l'équation (1840) (sans prise en compte de flux $Q_{int,z}$, donc).

Vient ensuite le calcul du volume d'eau injecté en partie haute correspondant à la quantité d'énergie fournie au ballon par le générateur de base, $Q_{fou,sto,base}(h)$:

$$v_{inj} = \frac{Q_{fou,sto,base}(h)}{\frac{1}{3600}.\rho_w.c_w.\left(\theta_{injecte,base}(h) - \theta_{b[z_{p,base}]}(i-1)\right)} \quad (1841)$$

$\theta_{injecte,base}(h)$ représente la température de l'eau injectée dans le ballon après été réchauffée par la base ; $\theta_{b[z_{p,base}]}(i-1)$ est quant à elle la température de l'eau prélevée dans le ballon avant avoir été réchauffée. Conventionnellement, il s'agit de la température de la zone la plus basse $z_{p,base}$.

A ce stade, on applique une procédure itérative pour calculer les températures des différentes zones, en partant de celle du haut. L'effet piston associé à la circulation d'eau entre les piquages haut et bas affecte l'ensemble des zones du ballon.

Soient :

- i l'indice entier marquant chaque itération de la boucle (i-1 représentant l'indice de l'étape précédente dans le calcul des températures).
- les indices entiers n et k initialisés à la valeur N_{zone},
- la quantité d'énergie $Q_{disponible}$ initialisée à $Q_{disponible} = Q_{fou,sto,base}(h)$:

Tant que $v_{\_inj} \geq V[n]$ (tant que le volume injecté est supérieur au volume de la zone n) :

$\theta_{b[n]}(i) = \theta_{injecte,base}(h)$ (la zone n est remplie d'eau à la température injectée)

k = n-1

Tant que k > 0 :

$\theta_{b[k]}(i) = \theta_{b[k+1]}(i-1)$

k = k -1

Fin « *Tant que k >0* »

Si $\theta_{b[zp,base]}(i) < \theta_{injecte,base}(h), alors$: (1842)

$v_{inj} = v_{inj} - V[n]$

n = n - 1

Sinon,

$v_{inj} = 0$

La boucle « Tant que v_inj ≥ V[n]» est arrêtée.

On passe ensuite à l'itération suivante du calcul des températures de ballon. On conserve les températures obtenues à l'issue de cette itération.

Pour chaque zone d'indice z : $\theta_{b[z]}(i-1) = \theta_{b[z]}(i)$

Fin « Tant que k >0 »

Pour finir, on réalise une dernière itération pour prendre en compte le volume injecté restant (inférieur au volume de zone) :

k = n
Si k ≥ 0, alors :

$$\theta_{b[k]}(i) = \frac{v_{inj}.\theta_{injecte,base}(h) + \left(\mathrm{V[k]} - v_{inj}\right).\theta_{b[k]}(i-1)}{\mathrm{V[k]}}$$

k = k -1

(1843)

Tant que k ≥ 0 :

$$\theta_{b[k]}(i) = \frac{v_{inj}.\theta_{b[k+1]}(i-1) + \left(\mathrm{V[k]} - v_{inj}\right).\theta_{b[k]}(i-1)}{\mathrm{V[k]}}$$

k = k -1
Fin « *Tant que k >0* »

9.9.3.2.5.3 Mélange de zones en cas d'inversion de température

Les commentaires et équations sont identiques à ceux du paragraphe 9.9.3.2.2.2.

9.9.3.2.6 Température à la fin du pas de temps h

Les températures du pas de temps *h* sont celles de la dernière itération réalisée au cours de ce pas de temps.

$$\theta_{bz}(h) = \theta_{bz}(i_{fin}) \quad (1844)$$

9.10 C_STO_gestion_régulation_ballon

9.10.1 INTRODUCTION

La gestion-régulation du ballon de stockage regroupe l'ensemble des algorithmes de calcul du volume à puiser dans le ballon au pas de temps h, ainsi que les conditions d'enclenchement et la quantité d'énergie à fournir par les générateurs connectés au ballon.

Pour produire de l'eau chaude, un ballon de stockage peut posséder une ou deux source(s) de chaleur. Dans le premier cas, l'unique source de chaleur est appelée base, dans le second cas la base sera la source de chaleur prioritaire.

En tenant compte des paramètres de gestion-régulation du thermostat, nous calculons l'énergie requise au niveau du générateur de base ou d'appoint pour couvrir les besoins d'ECS et/ou de chauffage et compenser les pertes thermiques du ballon.

9.10.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 285 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
h_{leg}	Heure légale au pas de temps h.	h
$\theta_{b[z]}(i)$	Température des zonesz du ballon à l'itération de calcul en cours	°C
$\theta_{b[z]}(h\text{-}1)$ $\theta_{b[z]}(h\text{-}2)$	Températures des zones *z* du ballon au pas de temps h-1 et h-2	°C
Vp(h)	Volume puisé pendant le pas de temps h	l
$\phi_{pertes,z}(h)$	Pertes thermique des différentes zones du ballon au pas de temps h	W
$Q_{w\_sto\_unit}(h)$	Quantité d'énergie à fournir par le ballon	Wh
$Q_{w\_sto\_unit\_report}(h)$	Quantité d'énergie non assurée au pas de temps h-1, reportée au pas de temps courant	Wh
$\theta_{entrant,ECS}(h)$	Température moyenne entrant dans le ballon au niveau du piquage retour d'ECS au pas de temps h	°C
$\theta_{entrant,ch}(h)$	Température moyenne entrant dans le ballon au niveau du piquage retour du chauffage au pas de temps h	°C
$\theta_{depart,aval,ECS}(h)$	Température départ de consigne de la distribution ECS au pas de temps h	°C
$\theta_{depart,aval,ch}(h)$	Température départ de consigne de la distribution de chauffage au pas de temps h	°C
$qv\_{boucle,ecs}(h)$	Débit d'eau du réseau bouclé ECS au pas de temps h (le cas échéant)	m^3/h
$V_{ef\_ecs}(h)$	Volume total d'eau chaude non-mitigée puisé au pas de temps h	m^3
$qv\_{ch}(h)$	Débit d'eau total dans le réseau de distribution de chauffage au pas de temps h	m^3/h

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$type_{gest\_base/ap}$	Type de programmation du thermostat de base (de l'appoint) du ballon de stockage *0. Fonctionnement permanent* 1. *De nuit seulement* 2. *De jour seulement*	-	0	2	-

$Is_{solaire\_base}$	Booléen précisant si le générateur de base est une boucle solaire thermique	bool	Faux	Vrai	
V_{tot}	Volume total du ballon principal	L	0	+ ∞	-
f_{aux}	Fraction effective concernée par l'appoint dans le cas d'un ballon base+appoint	-	0	1	-
$V_{(z\_reg\_base/ap)}$	Volume de la zone du ballon où se situe le système de régulation de la base ou de l'appoint	L	0	+∞	-
V_z	Volume des zones du ballon (*z* allant de 1 à 4)	L	0	+∞	-
N_{zone}	Nombre de zones dans le ballon	-	0	+ ∞	4
Nb_{iter_vp}	Nombre d'itérations de la boucle pour le calcul du volume puisé total du ballon	-	0	+ ∞	

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$\theta_{c\_base/ap}$	Température de consigne de la partie du ballon gérée par la base (par l'appoint	°C	0	110	55
$\Delta\theta_{base/ap}$	Hystérésis du système de régulation de la base de l'appoint	K	0	20	-
$z_{base/ap}$	Numéro de la zone du ballon la plus base contenant l'échangeur du générateur de base (d'appoint)	-	1	4	
$z_{reg\_base/ap}$	Numéro de la zone du ballon qui contient la mesure de température utilisée pour la régulation de la base (de l'appoint)	-	1	4	
$z_{p,ch}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle le puisage chauffage a lieu (piquage départ)	-	1	4	
$z_{p,ecs}$	Numéro de la zone du ballon dans laquelle le puisage ECS a lieu (piquage départ)	-	1	4	4
Statut_$\Delta\theta_{base/ap}$	Statut de la saisie de l'hystérésis : 1 : valeur à saisir 2 : valeur par défaut	-	1	2	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{req\_sto\_base/ap}(h)$	Energie requise à fournir à l'élément de stockage par le générateur de base	Wh
$V_p(h)$	Volume puisé au pas de temps h	L
$i_{active,base}(h)$	Indicateur d'activation de la base par la régulation	Bool

$i_{active,ap}(h)$	Indicateur d'activation de l'appoint par la régulation	Bool

Variables internes

Nom	Description	Unité
$f_{p\_base/ap}$	Autorisation de fonctionnement de la base ou de l'appoint selon la programmation (1 autorisé, 0 coupé)	-
V_{ap}	Volume de la partie du ballon chauffée par l'appoint	L
i	Numéro de l'itération en cours	-
$icons\_atteinte(h)$	Indicateur d'activation de l'appoint par la régulation du ballon	Bool
P_{PAC}	Puissance de pompe à chaleur moyenne au pas de temps précédent calculée sur la base de la remontée en température sur l'heure précédente	W
$Qrequis(h)$	Quantité d'énergie Qrequis à fournir au ballon de stockage sur l'ensemble de la période nuit	Wh
$Qdisponible(h)$	Quantité totale d'énergie que pourrait fournir la pompe à chaleur seule, si la pente de remontée en température restait la même que celle calculée sur toute la nuit.	Wh
$Nhrestant(h)$	Nombre d'heure restant avant la fin de la période nuit	h
$\theta_{cons,sortie}(i)$	Température de consigne au niveau du départ de la distribution d'eau	°C
$\theta_{entrant}(i)$	Température de l'eau entrant dans le ballon par le piquage retour	°C
$Q_{w\_sto\_unit}(i)$	Besoins d'énergie requis en entrée du ballon au début de l'itération *i*	Wh
$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$	Energie non assurée à l'itération i-1, reportée à l'itération courant	Wh
$V_p(i)$	Volume puisé pendant l'itération *i*	L

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg .K)	1,163

Tableau 285 : Nomenclature des différentes variables du modèle

9.10.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La gestion-régulation du ballon de stockage regroupe l'ensemble des algorithmes de calcul du volume à puiser dans le ballon au pas de temps h, ainsi que les conditions d'enclenchement et la quantité d'énergie à fournir par les générateurs connectés au ballon.

9.10.3.1 ***Prise en compte du volume puisé par une boucle itérative***

Le présent algorithme détermine le volume à puiser dans le ballon de stockage au pas de temps *h* au travers d'une boucle itérative. Cette boucle est nécessaire pour calculer la totalité du volume puisé dans le ballon en tenant compte de l'évolution des températures de chaque zone du ballon due à l'effet piston.

Le calcul du volume puisé à partir de la demande d'énergie utilise la température de la zone supérieure du ballon θ_{b4} (au pas de temps précédent). Par conséquent, chaque zone pouvant avoir une température différente, le volume puisé ne peut excéder le volume de la plus petite zone du ballon.

Pour remédier à cela, le volume puisé total du pas de temps *h* est calculé au cours de plusieurs itérations *i*, avec les hypothèses suivantes :

- le nombre d'itérations Nb_{iter_vp} dépend du f_{aux} ;
- le volume puisé, l'énergie reportée et les températures du ballon (V_p, $Q_{w\_sto\_unit\_report}$, θ_{bz}) sont calculés à chaque itération ;
- si l'énergie reportée est nulle, la boucle itérative s'arrête ;
- ni les pertes ni les puissances injectées dans le ballon ne seront comptabilisées avant la dernière itération de la boucle ;
- la chronologie des événements est expliquée ci-dessous :

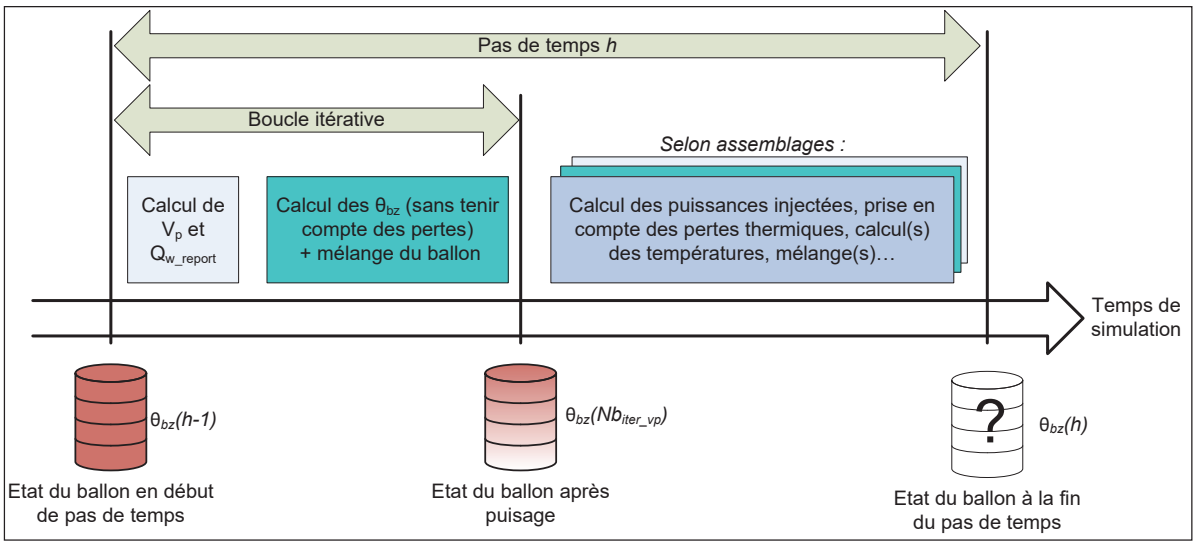


Figure 184 : étapes de calcul de la modélisation d'un ballon de stockage d'eau chaude

9.10.3.1.1 Calcul du volume puisé par boucle itérative dans le cas de piquage direct (sans échangeur intermédiaire) : cas général

Ce paragraphe s'applique lorsque le ballon est connecté au réseau de distribution directement au travers de piquage communiquant avec le volume d'eau stocké, sans échangeur externe

intermédiaire.

Les paramètres utilisés dans la boucle itérative à dépendent du poste que l'on traite.

Si la boucle itérative est appelée lors du puisage ECS :

z_p (i) = $z_{p,ecs}$
$\theta_{entrant}(i) = \theta_{entrant,ecs}(h)$ (1845)
$\theta_{cons,sortie}(i) = \theta_{depart,aval,ecs}(h)$

$z_{p,ecs}$ est fixé conventionnellement à 4 (le puisage s'effectue toujours dans la zone supérieure du ballon).

Sinon, lorsqu'elle est appelée lors du puisage équivalent en chauffage :

z_p (i) = $z_{p,ch}$
$\theta_{entrant}(i) = \theta_{entrant,ch}(h)$ (1846)
$\theta_{cons,sortie}(i) = \theta_{depart,aval,ch}(h)$

$z_{p,ch}$ est défini en paramètre en fonction de la position du piquage départ de chauffage.

Le volume puisé est calculé à partir de la température de la zone d'indice z_p du ballon de l'itération précédente et ne peut excéder, à chaque itération, le volume de la plus petite zone du ballon de stockage.

Au préalable, on pose :

A la première itération (*i=1*),

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(h) \quad (1847)$$

Si la demande d'énergie ne peut être satisfaite, l'énergie à puiser sera reportée à l'itération suivante :

Si $\theta_{b,zp}(h\text{-}1) > \theta_{cons,sortie}(i)$, alors

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{bzp}(h-1) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z \in \{1,4\}}\right) \quad (1848)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(h-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (1849)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i)$$

A l'issue de l'itération i, un recalcul des températures du ballon de stockage est réalisé selon les modalités de la fiche C_STO_Ballon_de_stockage.

Ensuite, la boucle itérative continue tant que $1 < i \leq Nb_{iter\_vp}$ et $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) \neq 0$:

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit\_report}(i-1) \quad (1850)$$

De même que précédemment :

Si $\theta_{b,zp}(i-1) > \theta_{cons,sortie}(i)$,alors,

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{bzp}(i-1) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z \in \{1,4\}}\right) \quad (1851)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(i-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (1852)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i)$$

A l'issue de l'itération i, un recalcul des températures du ballon de stockage est réalisé selon les modalités de la fiche C_STO_Ballon_de_stockage.

A l'issue de la boucle itérative, la dernière valeur de l'énergie $Q_{w\_sto\_unit\_report}(Nb_{iter\_vp})$ sera reportée au pas de temps suivant.

Le volume total puisé dans le ballon au pas de temps courant est noté de la manière suivante :

$$V_p(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter\_vp}} V_p(i) \quad (1853)$$

9.10.3.1.2 Calcul du volume puisé par boucle itérative dans le cas de piquage direct : cas particulier des assemblages à appoint séparé instantané

Dans les assemblages de ballon à appoint séparé instantané, le volume puisé est calculé de manière légèrement différente par rapport aux autres assemblages. Les calculs de la fiche « gestion-régulation base du ballon » sont à remplacer par les algorithmes suivants.

Le calcul des variables $z_p(i)$, $\theta\_{entrant}(i)$ et $\theta\_{cons,sortie}(i)$ est réalisé selon les équations (1845) et (1846), en fonction de la nature du service (chauffage ou ECS) concerné par la boucle itérative.

A la première itération (*i=1*), on pose

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(h) \quad (1854)$$

Si la demande d'énergie ne peut être satisfaite, l'énergie à puiser sera reportée à l'itération suivante.

Si $\theta_{b,zp}(h-1) \geq \theta_{cons,sortie}(i)$,alors,

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{bzp}(h-1) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z \in \{1,4\}}\right) \quad (1855)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(h-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

Sinon, si $\theta_{b,zp}(h-1) > \theta_{entrant}(h)$, *alors*

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{cons,sortie}(h) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right) \quad (1856)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(h-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

A l'issue de ces calculs, la boucle itérative est interrompue.

Sinon,

$$V_p(i) = 0 \quad (1857)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i)$$

A l'issue de l'itération i, un recalcul des températures du ballon de stockage est réalisé selon les modalités de la fiche C_STO_Ballon de stockage.

La boucle itérative continue tant que ($1 < i \leq Nb_{iter\_vp}$ et $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) \neq 0$)

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit\_report}(i-1) \quad (1858)$$

De même que précédemment,

Si $\theta_{b,zp}(i-1) \geq \theta_{cons,sortie}(i)$,alors,

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{bzp}(i-1) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right) \quad (1859)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(i-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

Sinon, si $\theta_{b,zp}(i-1) > \theta_{entrant}(h)$, *alors*

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{cons,sortie}(h) - \theta_{entrant}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right) \quad (1860)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot \left(\theta_{bzp}(i-1) - \theta_{entrant}(i)\right)$$

A l'issue de ces deux calculs, la boucle itérative est interrompue.

Sinon,

$$V_p(i) = 0 \quad (1861)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i)$$

A l'issue de l'itération i, un recalcul des températures du ballon de stockage est réalisé selon les modalités de la fiche C_STO_Ballon_de_stockage.

Pour une température de la zone de puisage (θ_{bzp}) inférieure à la température attendue par les réseaux intergroupes ($\theta_{cons,sortie}$), le volume puisé ne dépend pas de la température du ballon puisqu'il est calculé avec un écart de température constant. De ce fait, l'appoint est nécessaire.

Dans le cas contraire, le ballon peut assurer seul la demande d'énergie. L'appoint ne fonctionne pas.

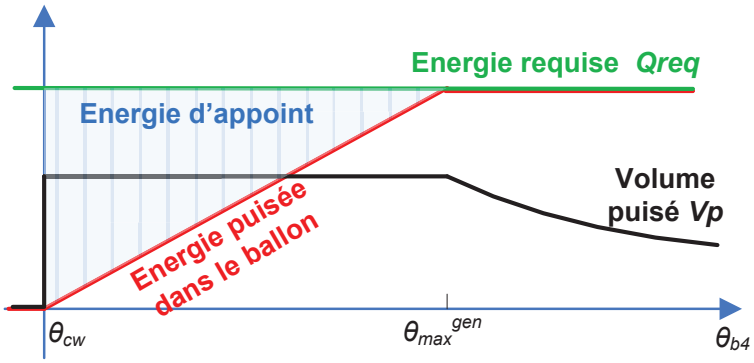


Figure 185 : logique de puisage dans le ballon dans le cas d'un générateur d'appoint séparé

9.10.3.1.3 Calcul du volume puisé par boucle itérative dans le cas d'un échangeur externe ou interne de séparation avec le réseau de distribution

En présence d'un échangeur externe côté distribution (à plaques) ou interne au ballon (serpentin, double-peau), le volume puisé dans le ballon à chaque itération Vp(i) ainsi que la quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$ sont calculées conformément à la fiche C_STO_échangeur_ballon.

Pour cela, à chaque itération, on communique à cette fiche les variables $\theta_{b[z]}(i)$, $Q_{w\_sto\_unit}(i)$, $qv_{\_aval}(h)$ et les températures $\theta_{entrant}/\theta_{depart,aval}$ selon le poste en cours de traitement (voir équations (1845) et (1846)).

Pour un échangeur externe ou interne de chauffage, le débit au secondaire est pris égal au débit d'eau total circulant dans les réseaux de distribution au pas de temps $q_{v\_ch}(h)$.

$$qv_{aval}(h) = qv_{ch}(h) \quad (1862)$$

Pour un échangeur externe ou interne de production ECS, le débit au secondaire est pris égal au débit d'eau des réseaux bouclés d'ECS, $qv_{\_boucle,ECS}(h)$, plus 12 fois le volume d'eau chaude non-mitigée puisée total pour la génération $V_{ef\_ECS}(h)$. Cela revient à considérer que le puisage intervient sur une période d'une durée de 5 minutes (1/12ème d'heure) au cours du pas de temps h :

$$qv_{aval}(h) = qv_{boucle,ecs}(h) + 12 \,.\, V_{efECS}(h) \quad (1863)$$

Lorsque la quantité d'énergie à prélever au pas de temps précédent a été reportée au pas de temps h, il se peut que le besoin en énergie $Q_{w\_sto\_unit}(h)$ soit non-nul, mais que le débit d'eau de distribution $qv_{\_aval}(h)$ soit nul.

Si cela survient en chauffage, les valeurs de $qv_{\_ch}(h)$, $\theta_{\_entrant,ch}(h)$ et $\theta_{\_depart,aval,ch}(h)$ du dernier pas de temps où $qv_{\_ch}(h)$ était non-nul sont conservées et utilisées.

Si cela survient en production ECS, les valeurs de $qv_{\_boucle,ecs}(h)$, $V_{\_ef,ecs}(h)$ $\theta_{\_entrant,ecs}(h)$ et $\theta_{\_depart,aval,ecs}(h)$ du dernier pas de temps où $qv_{\_boucle,ecs}(h)$ ou $V_{\_ef,ecs}(h)$ étaient non-nuls sont conservées et utilisées.

9.10.3.2 *Gestion-régulation des générateurs de base et appoint*

La représentation mathématique de la gestion-régulation est commune pour les générateurs de base et les générateurs d'appoint associés au ballon, à quelques différences près. Les algorithmes, décrits avec les indices relatifs à la base, sont intégralement transposable à l'appoint sauf mention contraire.

Les paramètres de gestion-régulation sont néanmoins définis séparément pour la base et pour l'appoint, qui n'ont en général pas le même pilotage.

Elle prend en compte la programmation, les conditions d'enclenchement des générateurs liées à l'état du ballon à l'issue du puisage et le calcul de la quantité d'énergie à fournir en fonction de la température de consigne.

9.10.3.2.1 Calcul de l'indice de programmation du générateur ballon : f_p

Selon le type de programmation de la base ou de l'appoint intégré du ballon et l'heure légale au pas de temps, on autorise ou non le(s) générateur(s) à fournir de l'énergie au ballon :

Type_gestion = 0) Permanent
fp(h) = 1 (1864)

Type_gestion = 1) De nuit seulement
Si $h_{\_leg}(h) > 23h$ ou $h_{\_leg}(h) < 5h$:
fp(h) = 1
Sinon,
fp(h) = 0 (1865)

Type_gestion = 1) De jour seulement
Si $10h < h_{\_leg}(h) < 17h$:
fp(h) = 1
Sinon,
fp(h) = 0 (1866)

9.10.3.2.2 Calcul de la condition d'enclenchement du générateur

Dans le cas d'un générateur de base de type boucle solaire thermique, $Is_{solaire\_base}$ = *vrai,* le générateur est considéré comme enclenché dès qu'il peut réchauffer le ballon (voir C_GEN_Boucle solaire).

Dans tous les autres cas:

Si $f_p(h) = 0$, alors $Q_{req\_sto\_base}(h) = 0$. Dans le cas contraire, $Q_{req\_sto\_base}(h)$ est calculé comme suit.

Le dispositif de régulation des générateurs de base et appoint se base sur la température relevée en début du pas de temps dans la zone du ballon où est située la sonde du régulateur de la base z_{reg_base} et de l'appoint $z_{\_reg\_app}$. Le dispositif chauffant devra se déclencher à la condition suivante, introduit pour tenir compte de l'hystérésis de la régulation. Elle est ici exprimée dans le cas du générateur de base :

$V_p(h) > 0$
ou $\theta_{b(z_{reg\_base})}(h-1) < \theta_{c\_base} - \Delta\theta_{base}$ (1867)
ou $\theta_{c_base} - \Delta\theta_{base} \leq \theta_{b(z_{reg_base})}(h-1) < \theta_{c_base}$et $\theta_{b(z_{reg\_base})}(h-2) < \theta_{b(z_{reg\_base})}(h-1)$

$\theta c_{,base}$ représente la consigne de température pour le générateur de base et $\Delta\theta_{base}$ l'hystérésis de

la régulation de ce dernier. Si *statut_delta _theta* =2 (valeur par défaut), alors $\Delta\theta_{base}$=2°C.

Par ailleurs, dans le cas d'un générateur de base seulement, on rajoute la condition suivante :

$$\theta_{z\_reg\_base}(h-1) < \theta_{c\_base} + \frac{\Phi_{pertes,z\_reg\_base}(h-1)}{\rho_w \cdot c_w \cdot V_{(z\_reg\_base)}} \quad (1868)$$

Si la condition ci-dessus est remplie pour le générateur de base, alors $i_{active,base}(h)$ = *vrai.* Sinon, $i_{active,base}(h)$ = *faux.*

Si la condition ci-dessus est remplie pour le générateur d'appoint, alors $i_{active,appoint}(h)$= *vrai.* Sinon, $i_{active,appoint}(h)$ = *faux.*

9.10.3.2.3 Calcul de la puissance requise

La puissance requise à fournir par la base ou l'appoint est donnée par l'équation ci-dessous, ici exprimée pour la base. Elle n'est calculée que si le générateur est activé au sens de la condition d'enclenchement précédemment évoquée.

Si $i_{active,base}(h)$ = *vrai, alors :*

$$Q_{req\_sto\_base}(h) = max\left[\rho_w \cdot c_w \cdot \left(\sum_{z=z_{base}}^{N_{zone}} V_z \cdot \left(\theta_{c\_base} - \frac{\sum_{z=z_{base}}^{N_{zone}} V_z \theta_{bz}(i-1)}{\sum_{z=z_{base}}^{N_{zone}} V_z}\right)\right) + \sum_{z=z_{base}}^{N_{zone}} \phi_{pertes,z}, 0\right] \quad (1869)$$

Les températures θ_{bz} sont celles de la dernière itération effectuée (voir les algorithmes du ballon de stockage).

9.10.3.3 *Gestion-régulation des générateurs de base et appoint dans le cas d'une gestion optimisée de l'appoint*

Dans ce chapitre, on s'intéresse aux systèmes de production d'eau chaude sanitaire thermodynamique à accumulation disposant d'une régulation optimisée. Ils sont composés :

- d'un ballon de stockage d'ECS à alimentation directe en eau froide, d'un volume maximal d'eau inférieur à 400 L,
- d'une pompe à chaleur ECS seule ou double service (chauffage et ECS) en générateur principal de production ECS. Cette pompe à chaleur peut être munie ou non d'une programmation pour un fonctionnement ECS en période nuit seulement. La pompe à chaleur peut être de n'importe quelle technologie (air/eau, eau/eau…).
- d'un générateur d'appoint électrique intégré au ballon de stockage, d'une puissance thermique d'au moins 500 W/100 L d'eau et logé à une hauteur au plus égale à 60% de la hauteur totale du ballon de stockage,
- une programmation ne permettant une activation automatique de l'appoint qu'en période nuit uniquement,
- une régulation optimisée de l'appoint en période nuit obéissant à l'une des deux logiques suivantes :

- soit la régulation repousse l'activation de l'appoint jusqu'à l'instant où il sera établi que la pente de remontée en température du ballon de stockage par la pompe à chaleur seule ne permettra pas d'atteindre la température de consigne souhaitée dans l'ensemble du ballon à la fin de la période nuit,

- soit la régulation repousse l'activation de l'appoint jusqu'à l'instant où il sera établi que la pente critique de remontée en température avec appoint activé est atteinte. Cette pente critique est préprogrammée dans l'appareil selon les caractéristiques de ses composants et prend en compte les variations de températures de source à l'évaporateur et au condenseur.

Le produit doit avoir fait l'objet d'une certification des performances au regard de la norme NF EN 16147 (statut de donnée certifié au sens de la méthode Th-BCE).

9.10.3.3.1 Calcul des indices de programmation des générateurs du ballon : f_{p_base} et f_{p_ap}

Les indices de programmation permettent de définir les périodes sur lesquelles l'activation de la base et de l'appoint peuvent avoir lieu (horloge d'activation préprogrammée). Dans le cadre du titre V, la régulation de l'appoint concerne la période nuit seulement au sens de la méthode Th-BCE (0h-5h) :

Si $h_{\_leg}(h) > 23h$ ou $h_{\_leg}(h) < 5h$:
fp_ap(h) = 1
Sinon, (1870)
fp_ap(h) = 0

Cependant, on prévoit la possibilité d'activation du générateur de base soit en permanence, soit en période nuit. On traite donc les deux possibilités :

Type_gestion = 0) Permanent
fp_base(h) = 1 (1871)
Type_gestion = 1) De nuit seulement
Si $h_{\_leg}(h) > 23h$ ou $h_{\_leg}(h) < 5h$:
fp_base(h) = 1 (1872)
Sinon,
fp_base(h) = 0

9.10.3.3.2 Prise en compte de la régulation en fonction de la température d'eau dans le ballon

On impose un fonctionnement du générateur de base seulement lors de la première heure de la période nuit (h_{leg} = 0h). En effet, il faut disposer d'au moins une heure entière de fonctionnement de la pompe à chaleur (générateur de base) seule, afin de déterminer la pente de remontée en température du ballon de stockage. Ainsi, au début de la période nuit :

Si $h_{\_leg}(h) = 0h$ alors :
$I_{active,base}(h) = 1$ (vrai) (1873)
$I_{active,app}(h) = 0$ (faux)

Pour le reste du temps, l'activation de la base est gérée selon un algorithme identique à celui des règles Th-BCE, §9.10.3.2

En ce qui concerne la modélisation de la régulation de l'appoint, on part du principe que le régulateur calcule à chaque pas de temps une quantité d'énergie $Q_{requis}(h)$ à fournir avant la fin de la période nuit :

$$Q_{requis}(h) = \rho_w \cdot c_w \cdot \sum_{z=1}^{N_{zone}} [V_z \cdot (\theta_c - \theta_z(□ - 1)] \ (Wh) \quad (1874)$$

En parallèle, sur la base de mesures ponctuelles de température, la régulation évalue la pente de remontée en température du ballon. On traduit cette fonctionnalité par le calcul d'une puissance de pompe à chaleur moyenne calculée sur la base de la remontée en température sur l'heure précédente, P_{PAC} :

$$P_{PAC}(h) = \rho_w \cdot c_w \cdot \sum_{z=1}^{N_{zone}} [V_z \cdot (\theta_z(□ - 1) - \theta_z(□ - 2))] * \frac{1}{l□} \ (Wh) \quad (1875)$$

Soit le nombre d'heure avant la fin de la période nuit au sens de la méthode Th-BCE, noté $Nh_{restant}$:

Sinon si $h_{\_leg}(h) < 5h$ alors $Nh_{restant}(h) = 5h - h_{leg}(h)$:
Sinon, $Nh_{restant}(h) = 0$ (h) (1876)

On définit la quantité totale d'énergie que pourrait fournir la pompe à chaleur si la même pente de remontée en température était conservée toute la nuit :

$$Q_{disponible}(h) = N□_{restant}(h) \cdot P_{PAC}(□) \ (Wh) \quad (1877)$$

L'appoint est activé si : $Q_{disponible}(h) < Q_{requis}(h)$. Lorsqu'il est activé, c'est pour une heure complète. Au cours de cette heure, P_{pac} ne peut pas être calculée car la remontée en température inclut également l'impact de l'appoint. A l'issu de l'heure d'activation, l'appoint est automatiquement considéré comme désactivé sur l'heure suivante, afin de déterminer une nouvelle pente de remontée en température du ballon en mode pompe à chaleur seule. Lorsque la température de consigne est atteinte une fois pour toutes les zones du ballon, l'appoint ne sera plus activé au cours de la période de nuit en cours. Si à la dernière heure de la période de nuit (h_{leg} = 4h, soit de 4 à 5h du matin), il reste de l'énergie à fournir (Q_{requis} >0), l'appoint est automatiquement activé par sécurité.

Ainsi, à chaque pas de temps, l'algorithme appelé est le suivant :

Si $V_p(h) > 0$ alors
    $I_{active,app}(h) = 1$ (vrai)

Si $Q_{requis}(h) = 0$ alors
    $I_{cons\_atteinte}(h) = 1$ (vrai)

Si $i_{cons\_atteinte}(h) = 0$ (faux) alors
    Si ET $Q_{disponible}(h) < Q_{requis}(h)$
    OU $I_{active,app}(h-1) = 1$ (vrai)
    OU [$h_{\_leg}$ = 4h ET $Q_{requis}(h) > 0$] alors
        $I_{active,app}(h) = 1$ (vrai)
    Sinon
        $I_{active,app}(h) = 0$ (faux)
Sinon
    $I_{active,app}(h) = 0$ (faux) (1878)

Chaque jour de simulation, à h_{leg} = 6h (du matin), tous les indicateurs booléens sont réinitialisés à 0 (faux).

9.11 C_STO_échangeur_ballon

9.11.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme décrit la modélisation d'un échangeur de chaleur externe ou interne associé à un ballon de stockage pour la fourniture de chaleur au réseau de distribution d'ECS ou de chauffage.

9.11.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 286 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation. L'indice i représente quant à lui l'itération de puisage d'eau dans le ballon en cours, dans la logique d'un puisage itératif tel que décrit dans le chapitre C_STO_Ballon_de_stockage de la méthode Th-BCE.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$[\theta_{b[z]}(i-1)]$	Température des différentes zones du ballon à la fin de l'itération précédente	°C
$\theta_{b[zp]}(i-1)$	Température de la zone à laquelle est connectée l'entrée de l'échangeur externe à la fin de l'itération précédente	°C
$Q_{w\_sto\_unit}(i)$	Quantité d'énergie à fournir à l'itération de puisage i	Wh
$\theta_{entrant}(h)$	Température moyenne entrant dans l'échangeur côté distribution. Il peut s'agit de la température retour de la distribution ECS ou chauffage ou de la température d'eau froide	°C
$\theta_{depart,aval}(h)$	Température départ de consigne de la distribution ECS ou chauffage	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'air ambiant autour de l'échangeur	°C
$q_{v,aval}(h)$	Débit volumique d'eau moyen au pas de temps h dans le réseau de distribution de chauffage ou d'ECS	m^3/h

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
UA_{ech}	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur externe dans les conditions de débits nominaux	W/K	0	+∞	
$h_{\_bas,ech,rel}$ $h_{\_haut,ech,rel}$	Hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en %	%	0	100	

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Ech. Interne	q_{v_prim}	Débit volumique d'eau nominal dans le circuit primaire, entre le ballon et l'échangeur à plaques	m^3/h	0	+∞	
	$P_{w\_circ\_prim}$	Puissance absorbée par le circulateur de charge de l'échangeur à plaques	W	0	+∞	
	V_{z_min}	Volume d'eau de la zone la moins volumineuse dans le ballon	m^3	0	+∞	
Echangeur externe	$[V_{[z]}]$	Volumes des différentes zones du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m^3	0	+∞	
	V_{tot}	Volume total du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m^3	0	+∞	
	N_{zone}	Nombre de zones du ballon	Ent	0	+∞	*4*

Sorties

	Nom	Description	Unité
Echangeur externe	$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$	Quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération de puisage	Wh
	ArretPuisage*(i)*	Indicateur booléen signifiant l'interruption du puisage en cours lorsqu'il bascule à vrai	bool
	$\theta_{retour,ballon}(i)$	Température de l'eau revenant au ballon depuis l'échangeur au cours de l'itération de puisage	°C
	$V_p(i)$	Volume d'eau effectivement puisé ou prélevé dans le ballon au cours de l'itération	m^3
	$W_{circ\_prim}(h)$	Consommation électrique du circulateur de la boucle primaire entre le ballon et l'échangeur	Wh
Echangeur interne	$[Q_{preleve[z]}(i)]$	Quantités d'énergie prélevées dans chaque zone du ballon par l'échangeur interne	Wh
	$z_{\_bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur	Ent
	$z_{\_haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur	Ent

Variables internes

Nom	Description	Unité
$[UA_{\_ech[z]}]$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne avec la zone d'indice z du ballon	W/K
$[NUT_{\_ech[z]}]$	Nombres d'unité thermique équivalent pour les portions d'échangeur interne de chaque zone	-
$\theta_{sortie,ballon}(h)$	Température d'eau en sortie du ballon	

$\theta_{entree\_ech}(h)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$\theta_{sortie\_ech}(i)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$V_{puisage}(i)$	Volume d'eau à prélever dans le ballon pour assurer le puisage	m^3
NUT*(h)*	Nombre d'unité thermique de l'échangeur au pas de temps h	-
Rd*(h)*	Rapport de déséquilibre de l'échangeur au pas de temps h	-
$\varepsilon_{eff}(h)$	Efficacité de l'échangeur externe au pas de temps h	-
$[Q\_{max[z]}(i)]$	Quantité d'énergie maximale qui peut être prélevée dans la zone d'indice z	Wh
$Q_w(i)$	Quantité d'énergie à fournir pour une itération avec un échangeur interne	Wh
$[\Delta\theta\_{deb[z]}(i)]$	Elévation de la température d'eau circulant dans la portion d'échangeur située dans la zone d'indice z	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/m^3	998
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
t_h	Durée d'un pas de temps en h	h	1

Tableau 286 : Nomenclature des différentes variables du modèle

9.11.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE POUR L'ECHANGEUR EXTERNE

9.11.3.1 ***Principe***

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et le volume d'eau prélevé au ballon en fonction des températures et débit avals.

L'échangeur externe est supposé associé soit au réseau de distribution chauffage, soit au réseau de distribution d'ECS, qui peut être direct, bouclé ou tracé, selon la configuration représentée ci-dessous :

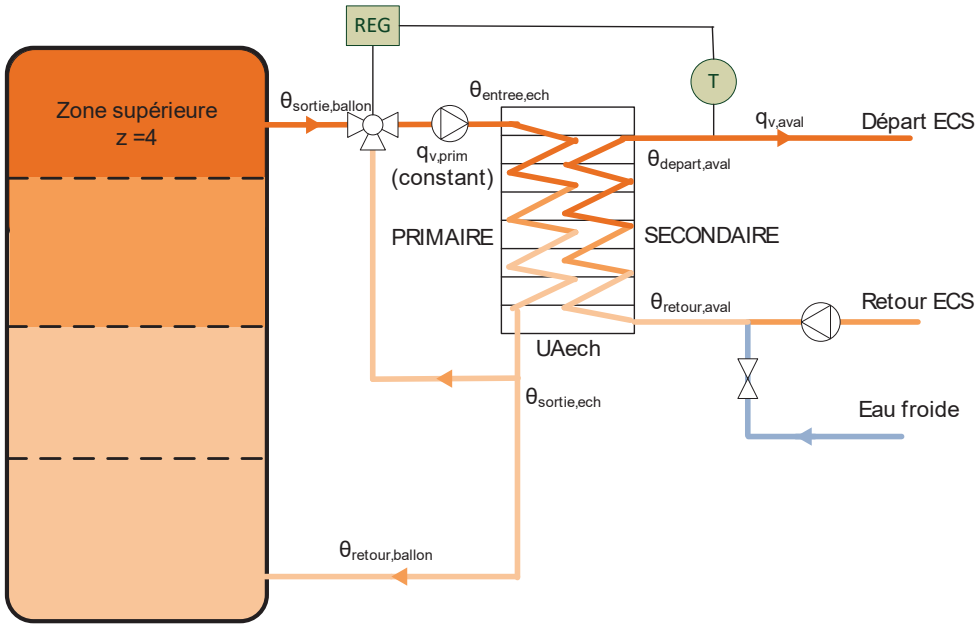


Figure 186: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur externe pour la production ECS avec réseau bouclé

Dans cette configuration, le débit d'eau circulant dans l'échangeur côté primaire est supposé constant. Une vanne 3 voies pilotée en fonction de la température de sortie du ballon et de la température départ aval ajuste le débit d'eau prélevé dans le ballon et permet de limiter la température en entrée de l'échangeur.

Dans le cas d'un assemblage avec un ballon principal et un ballon d'appoint, $\theta_{sortie,ballon}$ représente la température de la zone supérieure du ballon d'appoint et $\theta_{retour,ballon}$ la température injectée dans le ballon principal.

9.11.3.2 ***Calcul de l'efficacité de l'échangeur***

L'efficacité de l'échangeur externe, $\varepsilon_{eff}(h)$ est calculée selon la méthode du NUT, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

Bien que le débit côté distribution, $q_{v,aval}(h)$ puisse varier, on fera l'hypothèque que le coefficient d'échange UA_{ech} reste applicable quel que soit ce débit. Côté primaire, on suppose un fonctionnement à débit constant, égal à q_{v_prim}.

Le nombre d'unité thermique NUT(h) est défini par la relation suivante :

$$NUT(h) = \frac{3600.UA_{ech}}{\rho_e.c_e.MIN(q_{v,aval}(h);q_{v\_prim})} \quad (1879)$$

Le rapport déséquilibre de l'échange thermique Rd(h) est, quant à lui, calculé comme suit :

$$Rd(h) = \frac{MIN(q_{v,aval}(h); \mathrm{q_{v\_prim}})}{MAX(q_{v,aval}(h); \mathrm{q_{v\_prim}})} \quad (1880)$$

Si Rd (h) = 1 (transfert thermique à débits équilibrés), alors,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h)+1} \quad (1881)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-Rd(h))}}{1 - Rd(h).e^{-NUT(h).(1-Rd(h))}} \quad (1882)$$

9.11.3.3 *Calcul de la température retour ballon et du volume puisé : cas générique*

En premier lieu, on souhaite calculer la température requise en entrée de l'échangeur côté ballon, $\theta_{entree\_ech}(i)$, pour pouvoir réchauffer l'eau du réseau de distribution. Cette température dépend de l'efficacité de l'échangeur et des températures départ/retour du réseau de distribution :

$$\theta_{entree\_ech}(i) = \theta_{retour,aval}(h) + \frac{q_{v,aval}(h)}{\varepsilon_{eff}(h).MIN(q_{v,aval}(h); \mathrm{q_{v\_prim}})}.\left(\theta_{depart,aval}(h) - \theta_{entrant}(h)\right) \quad (1883)$$

La capacité à assurer le puisage dans le ballon va dépendre de la température de la zone du ballon à laquelle est raccordée le piquage départ connecté à l'échangeur externe, notée $\theta_{sortie,ballon}(i)$. Cette dernière est prise égale à la température de la zone du ballon à laquelle le piquage est connecté à l'issue de l'itération précédente :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{b[zp]}(i-1) \quad (1884)$$

Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree\_ech}(h)$, le puisage peut être assuré. On calcule la température de sortie de l'échangeur côté ballon, qui correspond à la température retour du ballon:

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{entree\_ech}(h) + \frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\mathrm{q_{v_{prim}}}.\rho_w.c_w} \quad (1885)$$

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie\_ech}(i) \quad (1886)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est plafonné par le volume de zone du ballon le plus limitant, V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = q_{v_{prim}}.\frac{\theta_{entree\_ech}(h) - \theta_{sortie\_ech}(h)}{\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie\_ech}(h)} \quad (1887)$$

$$V_p\ (i) = MIN\left(V_{puisage}(i); V_{zmin}\right) \quad (1888)$$

Avec $\theta_{sortie,ballon}(h) = \theta_{bzp}(i)$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{rest}(i) = Q_{req}(i) - V_p\ (i).\rho_w.c_w.\left(\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie\_ech}(h)\right) \quad (1889)$$

Le circulateur de la boucle primaire est activé, on comptabilise donc sa consommation sur le pas de temps en cours :

$$W_{circ,prim}(h) = Pw_{circprim}\ .\ t_h \quad (1890)$$

Sinon, dans le cas où $\theta_{sortie,ballon}(h) < \theta_{entree\_ech}(h)$, la température du ballon est insuffisante pour

assurer le puisage. L'échangeur n'est pas alimenté en eau, et la quantité d'énergie à fournir est reporté sur un appoint ou au pas de temps suivant:

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{amb}(h) \quad (1891)$$

$$V_{puisage}(i) = 0\ m^3 \quad (1892)$$

$$V_p\ (i) = 0\ m^3 \quad (1893)$$

$$Q_{rest}(i) = Q_{req}(h) \quad (1894)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = vrai \quad (1895)$$

Le circulateur de la boucle primaire est arrêté :

$$W_{circ,prim}(h) = 0\ Wh \quad (1896)$$

9.11.3.4 *Calcul de la température retour ballon et du volume puisé : cas spécifique des assemblages appoint séparé instantané*

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'assemblage peut jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série de l'échangeur sur le secondaire, vient alors compléter la puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme décrit au §9.11.3.3 devient alors le suivant :

Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree\_ech}(h)$, le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique les équations (1948) à (1953).

Sinon, si $\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{retour\_aval}(h)$, l'échangeur externe peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Sa puissance thermique est limitée par la température en sortie du ballon, d'où :

$$\theta_{entree\_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(h) \quad (1897)$$

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{entree\_ech}(i) - \varepsilon_{eff}(h).\frac{MIN(q_{v,aval}(h); \mathrm{q_{v\_prim}})}{\mathrm{q_{v\_prim}}}.\left(\theta_{entree\_ech}(i) - \theta_{entrant}(h)\right) \quad (1898)$$

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie\_ech}(i) \quad (1899)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est plafonné par le volume minimal parmi ceux des zones du ballon, V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = q_{v_{prim}} \quad (1900)$$

$$V_p\ (i) = MIN\left(V_{puisage}(i); V_{zmin}\right) \quad (1901)$$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - V_p\ (i).\rho w.cw.\left(\theta_{sortie,ballon}(h)\ - \theta_{sortie\_ech}(h)\right) \quad (1902)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = vrai \quad (1903)$$

Le circulateur de la boucle primaire est activé, on comptabilise donc sa consommation sur le pas de temps en cours :

$$W_{circ,prim}(h) = Pw_{circprim} \cdot t_h \quad (1904)$$

Sinon, dans le cas où $\theta_{sortie,ballon}(h) < \theta_{entree\_ech}(h)$, la température du ballon est insuffisante pour assurer le puisage. L'échangeur n'est pas alimenté en eau, et la quantité d'énergie à fournir est reporté sur un appoint ou au pas de temps suivant. On applique les équations (1890) à (1896).

9.11.4 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE POUR L'ECHANGEUR INTERNE

9.11.4.1 ***Principe***

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et la quantité d'énergie prélevée dans les différentes zones du ballon en fonction des températures et débit avals.

Un échangeur interne ne peut être utilisé que pour la production ECS. L'échangeur interne de production ECS peut débuter en bas de la cuve ou non. On introduit $h_{\_bas,ech,rel}$ et $h_{\_haut,ech,rel}$, les hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en % (0-100%) telles que représentée ci-dessous :

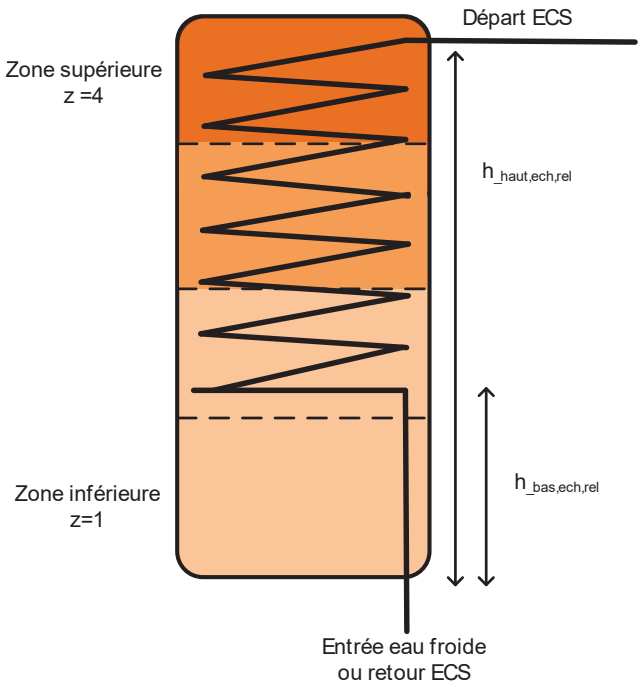


Figure 187: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur interne de production ECS

Par convention, l'échangeur interne est supposé atteindre le haut de la cuve : $h_{\_haut,ech,rel}$ =100%. Si $h_{\_bas,ech,rel}$ n'est pas connue, au appliquera la valeur par défaut suivante : $h_{\_bas,ech,rel}$ = 25%.

En préprocesseur, le coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne, $UA_{\_ech}$ est réparti pour chacune des zones qu'il traverse, au prorata des tailles de ces zones et de la position de l'échangeur. Soit $UA_{\_ech[z]}$ le coefficient de transfert thermique correspondant à la portion qui traverse la zone d'indice z.

On détermine $z_{\_bas,ech}$, la zone où se situe le bas de l'échangeur interne, en fonction de $h_{\_bas,ech,rel}$, via la procédure suivante :

$h_{zinf} = 0\ \%$

$h_{zsup} = 0\ \%$

Pour z allant de 1 à N_{zone} :

$h_{zinf} = h_{zsup}$

$h_{zsup} = \frac{V_{[z]}}{V_{tot}} + h_{zinf}$ (1905)

Si $h_{bas,ech,rel} < h_{zsup}$ et $h_{haut,ech,rel} \geq h_{zinf}$, alors, l'échangeur traverse la zone n :

$$UA_{ech[z]} = \frac{UA_{ech}}{h_{haut,ech,rel} - h_{bas,ech,rel}} . MIN\left(\frac{V_{[z]}}{V_{tot}}; h_{zsup} - h_{bas,ech,rel}\ ;\ h_{haut,ech,rel} - h_{zinf}\right)$$

Si $h_{bas,ech,rel} \geq h_{zinf}$ et $h_{bas,ech,rel} < h_{zsup}$

$z_{bas,ech} = z$

Si $h_{haut,ech,rel} > h_{zinf}$ et $h_{haut,ech,rel} \leq h_{zsup}$

$z_{haut,ech} = z$

Où :

- z (entier), $h_{\_zinf}$ et $h_{\_zsup}$ (%) sont des variables locales spécifiques à la procédure,
- V_z représente le volume de la zone n et V_{tot} le volume total du ballon (en m^3)
- N_{zone} est le nombre de zone du ballon

9.11.4.2 *Calcul de la température retour ballon et de la quantité d'énergie prélevée : Cas générique*

Chaque zone du ballon peut fournir à l'échangeur une quantité d'énergie qui dépend de sa température. En parallèle, la quantité d'énergie fournie réduit la température des zones au fur et à mesure où le puisage s'effectue. Ainsi, il pourrait potentiellement survenir un instant « t » où la température en sortie d'échangeur devient inférieure à la température d'ECS souhaitée $\theta_{aval,ecs}$. En pratique, l'appoint, dimensionné en conséquence, va s'activer avant que cet instant « t » ne survienne et maintenir une température de puisage suffisante.

Pour prendre en compte cette logique, on recourt à la simplification suivante :

- le calcul utilise sur une boucle itérative à l'intérieur du pas de temps. A chaque itération, on réalise un nouveau calcul des températures de zone et de sortie d'échangeur en ne considérant qu'une fraction de la quantité d'énergie totale puisée, $Q_{iter,ecs}$, équivalente à une diminution globale de la température de ballon de 2°C. Ce pas d'itération est choisi pour que la dérive de température de sortie soit suffisamment faible sur une itération donnée,

- à chaque itération, si la température en sortie d'échangeur $\theta_{sortie,ballon}$ est suffisante, le puisage a lieu. Dans le cas contraire, on reporte la quantité d'énergie qui n'a pas pu être prélevée dans $Q_{\_w\text{-}sto\text{-}int\text{-}report}(i)$.

Dans un premier temps, pour chaque zone du ballon, on définit un Nombre d'Unité Thermique $NUT_{ech[z]}(h)$ par la relation suivante :

Pour z allant de 1 à N_{zone} :

$$NUT_{ech[z]}(h) = \frac{UA_{ech[z]}}{q_{v,aval}(h).\rho_w.c_w} \quad (1906)$$

Soit « *i* » l'entier utilisé comme indice de la boucle itérative. Chaque itération de la boucle se voit attribuer une fraction du besoin ECS égale à $Q_{iter,ecs}$, calculée comme expliquée plus haut :

$$Q_{iter} = V_{tot}.\rho_w.c_w.2°C \quad (1907)$$

Ensuite, au cours de l'itération :

$$Q_w(i) = MIN\left(Q_{w-sto-unit}(i)\ ;\ Q_{iter,ecs}\right) \quad (1908)$$

Pour la zone d'indice z = 1:

$$Q_{max[1]}(i) = V_{[1]}.\rho_w.c_w.MAX\left(0;\theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{entrant}(h)\right) \quad (1909)$$

$$\Delta\theta_{deb[1]}(i) = MAX\left(0\ ;\ \frac{\theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{entrant}(h)}{\frac{1}{NUT_{ech[1]}(h)} + 0{,}5}\right) \quad (1910)$$

Pour chaque zone d'indice z > 1:

$$Q_{max[z]}(i) = V_{[z]}.\rho_w.c_w.MAX\left(0\ ;\ \theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{entrant}(h)\right) \quad (1911)$$

$$\Delta\theta_{deb[z]}(i) = MAX\left(0\ ;\ \frac{\theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{entrant}(h) - \sum_{k=1}^{z-1}\Delta\theta_{deb[k]}(i)}{\frac{1}{NUT_{ecs[z]}(h)} + 0{,}5}\right) \quad (1912)$$

La température de puisage ECS disponible au début de l'itération i est donc :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{entrant}(h) + \sum_{z=1}^{Nzone}\Delta\theta_{deb[z]}(i) \quad (1913)$$

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)}$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon sont suffisantes pour puiser à la température souhaitée:

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN\left(Q_{max,ecs[z]}(i)\ ;\ \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{entrant}(h)} \cdot Q_w(i)\right) \quad (1914)$$

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)}$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon ne sont pas suffisantes pour puiser à la température d'usage souhaitée.

$$Q_{prelevee[z]}(i) = 0\ Wh \quad (1915)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}\ (i+1) = Q_{w-sto-unit}(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (1916)$$

9.11.4.3 *Calcul de la température retour ballon et de la quantité d'énergie prélevée : cas spécifique des assemblages appoint séparé instantané*

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'assemblage peut également jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série de l'échangeur inter, vient alors compléter la puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme décrit au §9.12.3.3.4.2 devient alors le suivant :

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)}$: le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique l'équation (1992) pour chaque zone du ballon.

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)}$ et $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{entrant}(h)}$, l'échangeur interne peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Sa puissance thermique est limitée par la température en sortie du ballon, d'où :

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN\left(Q_{max,ecs[z]}(i)\ ;\ \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{depart,aval}(h) - \theta_{entrant}(h)} \cdot Q_w(i)\right) \quad (1917)$$

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) \leq \theta_{entrant}(h)}$, : à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon ne sont pas suffisantes pour qu'une quantité d'énergie puisse être prélevée :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = 0\ Wh \quad (1918)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}\ (i+1) = Q_w(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (1919)$$

9.12 C_STO_Accumulateur_ECS en eau technique

9.12.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme décrit la modélisation d'un assemblage avec accumulateur ECS en eau technique.

Ce type de ballon de stockage a pour particularité de ne pas être raccordé directement au réseau de distribution ECS du bâtiment, mais séparé de celui-ci par un échangeur de chaleur.

Cet échangeur peut être :

- Soit immergé dans le ballon (échangeur serpentin, échangeurs double-peau). On parlera alors d'échangeur interne, tel que représenté sur la Figure 188 ci-dessous :

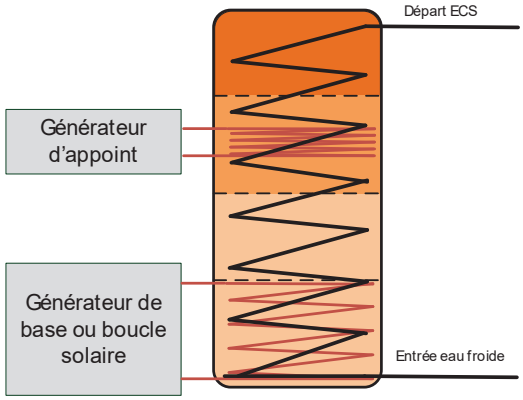


Figure 188: accumulateur ECS en eau technique avec échangeur interne

- Placé à l'extérieur du ballon et connecté aux piquages de celui-ci (échangeur à plaques). On parlera alors d'échangeur externe, tel que représenté sur la Figure 189 ci-dessous :

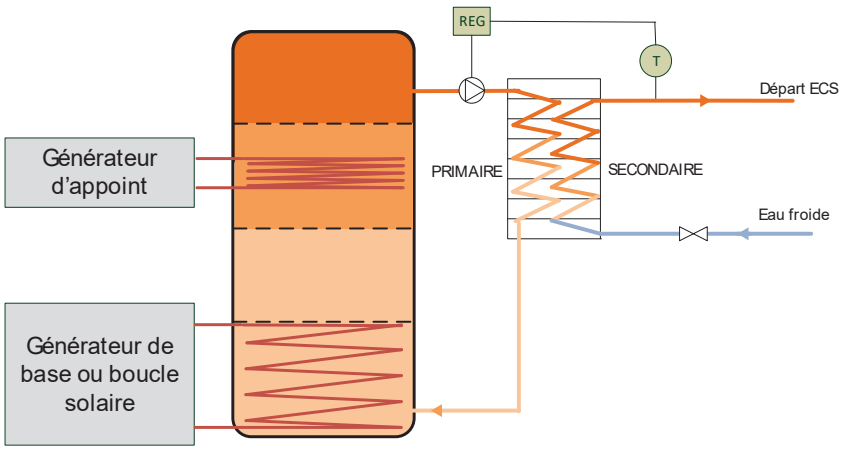


Figure 189: accumulateur ECS en eau technique avec échangeur externe

L'ensemble des types d'assemblage usuels peuvent être modélisés :

- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base seul,
- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint intégré,
- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint instantané séparé,

Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint dans un second ballon séparé. Dans ce cas, un premier ballon principal est réchauffé par le générateur de

base et un second ballon, raccordé en série au premier, par le générateur d'appoint.

9.12.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 287 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation. L'indice i représente quant à lui l'itération de puisage d'eau dans le ballon en cours, dans la logique d'un puisage itératif tel que décrit dans le chapitre *C_STO_Ballon_de_stockage* de la méthode Th-BCE.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$[\theta_{b[z]}(i-1)]$	Température des différentes zones du ballon à la fin de l'itération précédente	°C
$\theta_{b[zp]}(i-1)$	Température de la zone à laquelle est connectée l'entrée de l'échangeur externe à la fin de l'itération précédente	°C
$Q_{w\_sto\_unit}(i)$	Quantité d'énergie à fournir à l'itération de puisage i	Wh
$Q_{w\_rechaubouclé}(h)$	Quantité d'énergie à prélever dans le ballon pour le réchauffage de la boucle ECS au pas de temps h	Wh
$\theta_{ef}(h)$	Température d'eau froide	°C
$\theta_{retour,boucleECS}$	Température retour de bouclage ECS	°C
$\theta_{depart,aval}$	Température départ de consigne de la distribution ECS	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'air ambiant autour de l'échangeur	°C
$qv\_{boucle,ecs}(h)$	Débit d'eau du réseau bouclé ECS au pas de temps h (le cas échéant)	m^3/h
$V_{ef\_ecs}(h)$	Volume total d'eau chaude non-mitigée puisé au pas de temps h	m^3

Paramètres du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
Type_Assemblage	Type d'assemblage ECS parmi les suivants : *0) Base sans appoint* *1) Base et appoint intégré* *2) Base et appoint dans stockage séparé* *3) Base et appoint séparé instantané* *4) SSC avec appoint chauffage par système indépendant* 5) *SSC avec appoint chauffage raccordé*	Ent	0	5	
V_{tot}	Volume total du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m^3	0	+∞	

Réchauffage de boucle	*Type_Accumulateur_ECS*	Type d'accumulateur ECS : *0) Ballon d'eau chaude sanitaire,* *1) Ballon en eau technique avec échangeur immergé* 2) *Ballon en eau technique avec échangeur externe (préparateur)*	Ent	0	2	
	Type_Application	Type d'application de l'accumulateur ECS en eau technique (pour la définition de $\theta_{\_cons}$) : 0) Accumulateur ECS individuel 1) Accumulateur ECS collectif (avec ou sans bouclage)	Ent	0	1	
	$\theta_{\_cons}$	Température de consigne du ballon en eau technique	°C	55	100	
	Is_Retour_Boucle_Separe	Présence d'un piquage retour séparé, en partie haute du ballon, pour le réchauffage de boucle ECS : *0) Non* 1) *Oui*	Ent	0	1	
	$P_{w\_circ\_prim\_RB}$	Puissance absorbée par le circulateur de charge du préparateur ECS lors des phases de réchauffage de boucle	W	0	+∞	
Echangeur	P_{echECS}	Puissance thermique nominale de l'échangeur ECS à la température primaire $\theta_{\_cons}$, température d'eau froide de 15°C et température d'ECS de 5°C inférieure à $\theta_{\_cons}$ (au débit primaire nominal pour un échangeur externe)	kW	0	+∞	
	$q_{v\_prim\_nom}$	Débit volumique d'eau nominal dans le circuit primaire du préparateur ECS	m^3/h	0	+∞	
	Type_Circulateur_Prep_ECS	Type de circulateur du préparateur ECS : *0) Circulateur à vitesse constante* 1) *Circulateur à vitesse variable*	Ent	0	1	
	$P_{w\_circ\_prim\_nom}$	Puissance absorbée par le circulateur de charge du préparateur ECS au débit primaire nominale	W	0	+∞	
	Modmin	Rapport du débit minimal que le circulateur primaire peut maintenir sur le débit nominal de celui-ci	-	0	1	0,3

Sorties

	Nom	Description	Unité
Echangeur externe	$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$	Quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération de puisage	Wh
	$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$	Quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'ensemble des itérations de puisage	Wh
	ArretPuisage*(i)*	Indicateur booléen signifiant l'interruption du puisage en cours lorsqu'il bascule à vrai	bool
	$\theta_{retour,ballon}(i)$	Température de l'eau revenant au ballon depuis l'échangeur au cours de l'itération de puisage	°C
	$V_p(i)$	Volume d'eau effectivement puisé ou prélevé dans le ballon au cours de l'itération	m^3

	$W_{circ\_prim}(h)$	Consommation électrique du circulateur de la boucle primaire entre le ballon et l'échangeur	Wh
	$[Q_{preleve[z]}(i)]$	Quantité d'énergie prélevée en partie haute du ballon pour le réchauffage de boucle	Wh
	$z_{retour,ech,ext}$	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur externe	-
	z_{retour,ech_boucle}	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur réchauffeur de boucle ECS	-
Echangeur interne	$[Q_{preleve[z]}(i)]$	Quantités d'énergie prélevées dans chaque zone du ballon par l'échangeur interne	Wh
	$z\_{bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur	Ent
	$z\_{haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur	Ent

Variables internes

Nom	Description	Unité
$h\_{bas,ech,rel}$ $h\_{haut,ech,rel}$	Hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur interne par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en % Fixées à	%
V_{z_min}	Volume d'eau de la zone la moins volumineuse dans le ballon	m^3
$[V_{[z]}]$	Volumes des différentes zones du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m^3
UA_{ech}	Coefficient de transfert thermique global de l'échangeur ECS (externe ou interne)	W/K
$[UA\_{ech[z]}]$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne avec la zone d'indice z du ballon	W/K
$[NUT\_{ech[z]}]$	Nombres d'unité thermique équivalent pour les portions d'échangeur interne de chaque zone	-
$R_{temp}(h)$	Ratio de température entre le point de puisage et le départ de distribution ECS:	-
$V\_{eq\text{-}un\text{-}puisage}(h)$	Volume ECS équivalent puisé au cours d'un puisage moyen	m^3
$N\_{puisage}(h)$	Nombre de puisages moyens total sur le pas de temps h	Ent
$Y(h)$	Coefficient de probabilité de simultanéité des puisages au cours du pas de temps h	-
$t\_puis(h)$	Durée équivalente de puisage au pas de temps h (entre 0 et 1 h)	h
$qv_{ef\_ecs}(h)$	Débit d'ECS moyen à produite au cours du puisage au pas de temps h	m^3/h

$qv_{aval}(h)$	Débit d'ECS au secondaire de l'échangeur au pas de temps h	m^3/h
$\theta_{retour,aval}(h)$	Température d'eau entrant dans l'échangeur côté bâtiment (secondaire)	°C
$\theta_{sortie,ballon}(h)$	Température d'eau en sortie du ballon	°C
$\theta_{entree\_ech}(h)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$\theta_{sortie\_ech}(i)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$V_{puisage}(i)$	Volume d'eau à prélever dans le ballon pour assurer le puisage	m^3
NUT(h)	Nombre d'unité thermique de l'échangeur au pas de temps h	-
Rd(h)	Rapport de déséquilibre de l'échangeur au pas de temps h	-
ε_{eff}(h)	Efficacité de l'échangeur externe au pas de temps h	-
$[Q\_{max[z]}(i)]$	Quantité d'énergie maximale qui peut être prélevée dans la zone d'indice z	Wh
$Q_w(i)$	Quantité d'énergie à fournir pour une itération avec un échangeur interne	Wh
$Q_{nonassure}(i)$	Quantité d'énergie nécessaire pour porter la température de sortie du ballon à la température départ ECS à l'itération i	Wh
$[\Delta\theta\_{deb[z]}(i)]$	Elévation de la température d'eau circulant dans la portion d'échangeur située dans la zone d'indice z	°C
$W_{circ\_prim,puis}(h)$ $W_{circ\_prim,RB}(h)$	Consommation électrique du circulateur primaire lors de la phase de puisage et lors de la phases de réchauffage de boucle	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_e	Masse volumique de l'eau	kg/m^3	998
c_e	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
t_h	Durée d'un pas de temps en h	h	1
N_{zone}	Nombre de zones du ballon	Ent	4

Tableau 287 : Nomenclature des différentes variables du modèle

9.12.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

En présence d'un accumulateur ECS en eau technique, le calcul itératif du volume puisé dans le ballon tel que décrit dans le chapitre « C_STO_gestion_régulation_ballon» de la méthode Th-BCE est modifié pour prendre en compte l'échangeur externe ou immergé.

En particulier, on fait évoluer le paragraphe *9.10.3.1.3* Calcul du volume puisé par boucle itérative dans le cas d'un échangeur externe ou interne de séparation avec le réseau de distribution, qui décrit les modalités de calcul de Vp(i), volume puisé dans le ballon à chaque itération d'indice i, et $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$, quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération i, dans le cas d'un ballon en eau chaude sanitaire.

Le principe de cette boucle itérative est rappelé en Figure 190. A chaque itération i, la boucle itérative communique les variables de températures des différentes zones du ballon $\theta_{b[z]}(i)$ et de besoin en ECS $Q_{w\_sto\_unit}(i)$. A l'issue de l'itération, on calcule à nouveau les températures des différentes zones du ballon et la quantité d'énergie restant à assurer à l'itération suivante $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)$.

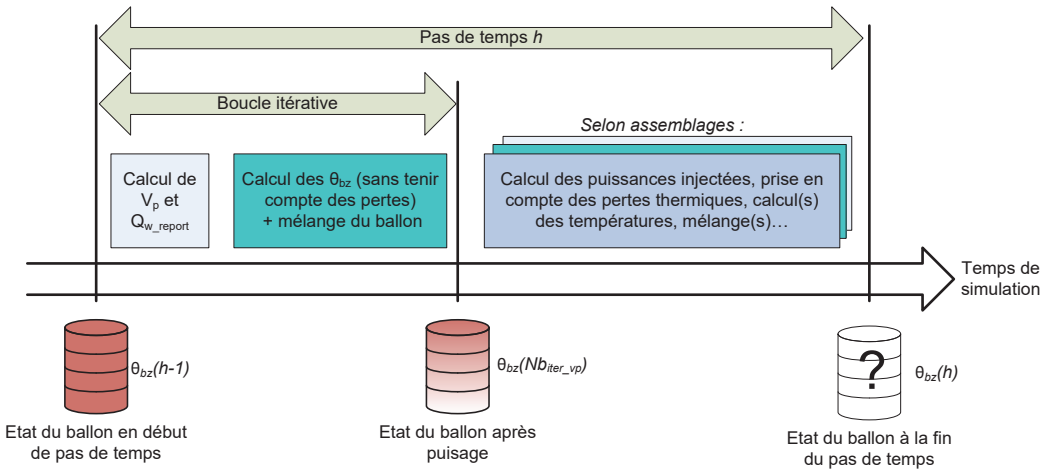


Figure 190: ballon ECS, déroulement d'un calcul sur un pas de temps

Les chapitres ci-dessous décrivent l'équivalent de ce calcul pour le cas d'un accumulateur en eau technique avec échangeur externe (§9.12.3.2) et avec échangeur interne (§9.12.3.3). Pour ce dernier, on ne raisonne pas en volume puisé, mais plus en quantité d'énergie prélevée dans les différentes zones du ballon.

9.12.3.1 *Calcul du débit ECS circulant dans l'échangeur au pas de temps horaire*

Pour caractériser l'échangeur à chaque pas de temps, il convient de disposer du débit ECS circulant au secondaire (aussi bien pour un échangeur externe qu'interne).

Or, la méthode de calcul Th-BCE fournit un volume d'ECS puisé total à chaque pas de temps, $V_{ef\_ecs}(h)$ en m^3, mais pas la valeur de débit ECS moyenne sur le pas de temps correspondante. On notera ce débit $qv_{ef\_ecs}(h)$, en m^3/h.

Pour calculer qv_{ef_ecs}, on applique une méthode reposant sur des hypothèses conventionnelles quant à la nature des puisages appliqués pour un $V_{ef\_ecs}(h)$ donné. Ainsi, on cherche à décomposer $V_{ef\_ecs}(h)$ en un nombre équivalent de puisages « significatifs ». On pose comme convention, qu'un puisage significatif correspond à un tirage de 6 l/min, pendant une durée de 8 minutes, à 40°C au point de puisage.

Pour opérer cette décomposition, on définit tout d'abord le ratio de température entre le point de puisage et le départ de distribution ECS:

$$R_{temp}(h) = \frac{40 - \theta_{ef}(h)}{\theta_{depart,aval} - \theta_{ef}(h)} \quad (1920)$$

Le volume ECS équivalent puisé au cours d'un puisage moyen est donc égal à :

$$V_{eq-un-puisage}(h) = 8\ (minutes) \times 6\ (l/min)\ \times\ R_{temp}(h) \quad (1921)$$

Note: à titre de référence, pour une température d'eau froide de 15°C et une température départ de 55°C, $V_{eq-un-puisage} = 30$ l d'eau chaude à 55°C. Cela correspond à un besoin ECS de 1380 Wh environ.

On calcule tout d'abord le nombre de puisage équivalent sur le pas de temps. Il s'agit de l'entier directement supérieur du rapport $V_{ef,ecs}$ sur $V_{eq\text{-}un\text{-}puisage}$:

$$N_{puisage}(h) = MAX\left(1\ ;\ ENTIER\left(\frac{V_{ef,ecs}(h)}{V_{eq-un-puisage}(h)}\right)\right) \quad (1922)$$

Selon notre hypothèse conventionnelle, le débit ECS maximal au pas de temps h, si tous les puisages avaient lieu de manière simultanés, serait donc $N_{puisage}(h) \times 6(l/min)$. Le débit ECS effectif est calculé à partir de ce débit ECS maximal, en intégrant un facteur de concomitance :

Si N_puisage(h) = 1 :

$$qv_{ef,ecs}(h) = 0{,}06 \times N_{puisage}(h) \times 6\ (l/min)\ \times R_{temp}(h) \quad (1923)$$

Sinon

$$qv_{ef,ecs}(h) = 0{,}06 \times N_{puisage}(h) \times 6\ (l/min)\ \times R_{temp}(h) \times Y(h) \quad (1924)$$

Avec :

- 0,06 le coefficient de conversion des l/min en m^3/h,
- 8 l/min le débit ECS nominal d'un point de puisage équivalent.
- Y le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages :

$$Y(h) = \frac{0{,}8}{\sqrt{N_{puisage}(h) - 1}} \qquad (1925)$$

La valeur prise par Y(h) en fonction du nombre de puisage est illustrée ci-dessous :

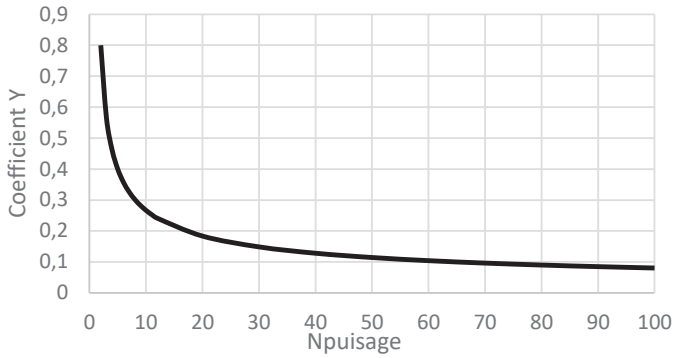


Figure 191: relation entre Y et Npuisage

Pour finir, on calcule la durée de puisage équivalente au pas de temps h, t_puis, exprimée en fraction d'heure. t_puis servira uniquement à exprimer la durée de fonctionnement du circulateur primaire au pas de temps h.

Si N_puisage(h) = 1 :

$$t_{puis}(h) = 2 \times 0{,}13 \quad (h) \qquad (1926)$$

Sinon,

$$t_{puis}(h) = MIN\left(1; N_{puisage}(h) \times Y(h) \times 0{,}13\right) \quad (h) \qquad (1927)$$

Avec :

- 0,13 le rapport entre la durée d'un puisage équivalent (8 minutes) et la durée d'une heure (60 minutes),

La valeur de t_puis en fonction du nombre de puisages est illustrée ci-dessous :

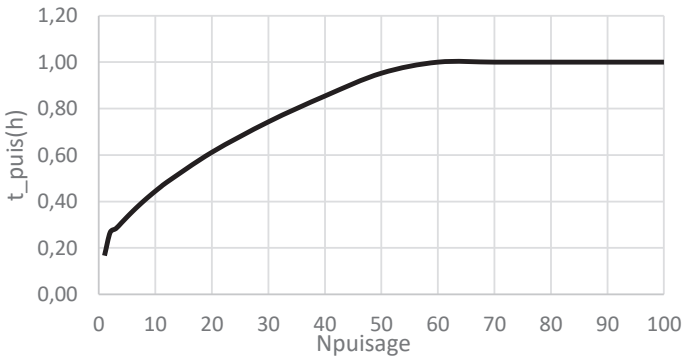


Figure 192: relation entre t_puis et Npuisage

9.12.3.2 *Accumulateur en eau technique avec échangeur externe de production ECS*

Ce paragraphe s'applique dès lors que *Type_Accumulateur_ECS = 2) Ballon en eau technique avec échangeur externe (préparateur).*

9.12.3.2.1 Principe

L'échangeur externe est supposé associé au selon la configuration représentée ci-dessous :

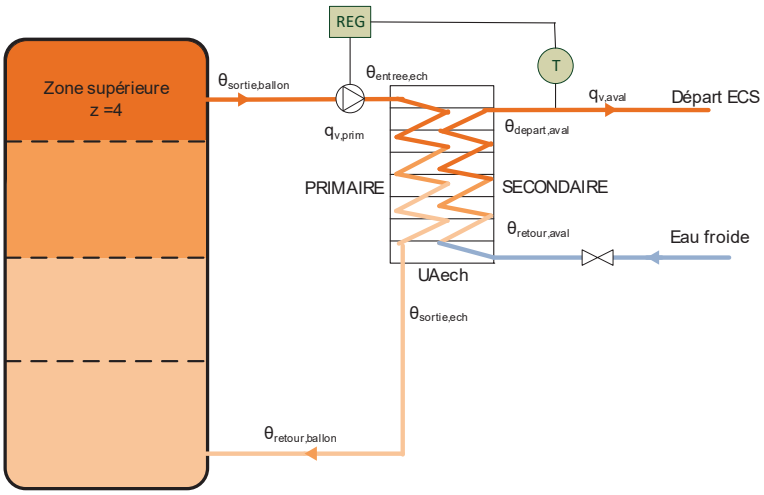


Figure 193: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur externe pour la production ECS avec réseau direct (sans bouclage)

Dans cette configuration, le débit d'eau circulant dans l'échangeur côté primaire peut être :

- soit constant, avec une vanne pilotant la température d'injection d'eau dans l'échangeur côté primaire, en fonction de la température de sortie du ballon et de la température départ aval,
- soit variable : dans ce cas, le débit primaire est ajusté en fonction de la puissance que doit fournir l'échangeur au secondaire.

A partir de ce débit primaire, du débit au secondaire calculé selon le §9.12.3.1 et du coefficient caractéristique UAech de l'échangeur, on détermine la température de retour au ballon $\theta_{\_retour,ballon}$ et la consommation du circulateur primaire.

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé, l'échangeur externe n'est modélisé que lors des phases de puisages. Au cours des phases de réchauffage de boucle, une modélisation spécifique est réalisée (voir §9.12.3.2.4.2).

9.12.3.2.2 Conventions de calcul

La prise en compte des ballons en eau technique impose de définir un certain nombre de conventions supplémentaires par rapport à un ballon à ECS classique.

Tout d'abord, dans le cas des ballons en eau technique, le nombre de zone par ballon est fixé à 4 et, quelle que soit la fraction faux couverte par l'appoint, le ballon est décomposé en 4 zones de tailles identiques.

$$N_{zone} = 4 \quad (1928)$$

$$V_{zone} = \frac{V}{N_{zone}} \quad (1929)$$

Ces conventions sont listées dans le tableau ci-dessous :

Variable	Définition	Valeur conventionnelle
$z_{retour,ech,ext}$	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur externe	1
z_{retour,ech_boucle}	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur réchauffeur de boucle ECS	Selon $Is_{Retour,boucle,separe}$: Si Non, z_{retour,ech_boucle} = 1, Si Oui, z_{retour,ech_boucle} = 3
$z_{\_bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur	1
$z_{\_haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur	4

Tableau 288 : Nomenclature des différentes variables du modèle

Enfin, dans le cadre des ballons en eau technique, la température de consigne conventionnelle, à laquelle le générateur est maintenue, est modifiée. Elle dépend du type d'application du ballon en eau technique, individuel ou collectif :

Type_Application	**0 : Accumulateur individuel**	**1 : Accumulateur collectif (avec ou sans bouclage)**
Température de consigne θcons	55 °C	60 °C

Tableau 289 : Valeurs de températures de consigne conventionnelles pour les accumulateurs ECS en eau technique

On considèrera un accumulateur individuel (*Type_Application* = 0) dès lors que le volume est inférieur à 500l ou dès lors que l'installation prévoit un accumulateur par logement en usage d'habitation (par chambre en usage d'hébergement).

9.12.3.2.3 Préprocesseur pour le cas d'un échangeur externe

Afin de modéliser l'échangeur de production ECS externe, il nous faut déterminer la coefficient d'échange thermique de l'échangeur UAech à partir de la puissance thermique nominale P_{echECS} et du débit $q_{v\_prim\_nom}$ déclarés en paramètres. Ce calcul n'est réalisé qu'une seule fois, en début de simulation.

La puissance thermique nominale P_{echECS} , en kW, correspond à la puissance thermique de l'échangeur ECS pour les conditions suivantes :

- température primaire égale à $\theta_{\_cons}$, selon valeurs du Tableau 289 ci-dessus,
- température d'eau froide de 15°C
- température d'ECS de 5°C inférieure à $\theta_{\_cons}$ (soit 50°C en accumulateur individuel et 55°C en collectif),
- débit primaire égal au débit primaire nominal $q_{v\_prim\_nom}$.

Le débit d'ECS circulant dans l'échangeur au point de fonctionnement nominal est le suivant:

$$q_{v,ECS,nom} = \frac{1000 \,.\, P_{echECS}}{\rho_e . c_e . (\theta cons - 5°C - 15°C)} \quad (1930)$$

L'efficacité aux débits nominaux de l'échangeur de production ECS s'exprime comme suit:

$$\varepsilon_{eff,nom} = \frac{\theta cons - 5°C - 15°C}{\theta cons - 15°C} . \frac{MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v\_prim\_nom})}{q_{v,ECS,nom}} \quad (1931)$$

Et le rapport des débits est le suivant:

$$R_{d,nom} = \frac{MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})}{MAX(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})} \quad (1932)$$

L'étape suivante consiste à calculer le coefficient UAech par inversion de la méthode du NUT, en faisant l'hypothèse d'un échangeur contre-courant. On utilise la méthode de résolution itérative de Brent, déjà utilisée à d'autres emplacements de la méthode Th-BCE (voir par exemple C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques).

En préalable à cette résolution, on initialise UAech à la valeur suivante :

$$UA_{ech} = 50 \,.\, P_{echECS} \quad \text{(W/K)} \quad (1933)$$

A chaque itération i de la méthode de résolution, l'objectif est d'atteindre $|\Delta\varepsilon(i)| < 0{,}01$ avec $\Delta\varepsilon(i)$ calculé comme suit :

$$NUT(i) = \frac{3600 . UA_{ech}(i)}{\rho_e . c_e . MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v\_prim\_nom})} \quad (1934)$$

$$\varepsilon_{eff}(i) = \frac{1 - e^{-NUT(i).(1-R_{d,nom})}}{1 - Rd(h) . e^{-NUT(i).(1-R_{d,nom})}} \quad (1935)$$

$$\Delta\varepsilon(i) = \varepsilon_{eff,nom} - \varepsilon_{eff}(i) \quad (1936)$$

A l'issue de la résolution, UAech est pris égal au dernier UAech(i) de la résolution. Ce coefficient UAech sera supposé constant pour l'ensemble des valeurs de débits ECS ou primaires susceptibles d'être fournies en entrée du calcul, au cours de la simulation.

9.12.3.2.4 Modélisation d'un puisage ECS : cas des assemblages base seule ou base et appoint intégré (Type_Assemblage = 0 ou 1)

Le présent paragraphe est appliqué dans le cas où $V_{ef,ecs} > 0$ m^3 (puisage ECS) au pas de temps h.

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et le volume d'eau prélevé au ballon en fonction des températures et débits du réseau ECS. Pour cela, on commence par calculer l'efficacité de l'échangeur externe, puis on applique la boucle itérative de puisage prévue dans la méthode Th-BCE, chapitre C_STO_gestion_régulation_ballon et, enfin, on calcule les consommations du circulateur primaire. C'est l'objet du §9.12.3.2.4.1 ci-dessous.

Etant donné que le réchauffage de boucle est modélisé séparément, le besoin ECS comptabilisée au niveau de la boucle de puisage, $Q_{w\_sto\_unit}$, lors de la première itération (i=0), est corrigée en déduit la part de besoin correspondant au réchauffage de boucle :

$$Q_{wstounit}\ (\mathrm{i}=1) = Q_{wstounit}\ (\mathrm{i}=1) - \mathrm{Qw}_{\mathrm{rechaubouclе}}(\mathrm{h}) \quad (1937)$$

Cette correction n'est pas applicable en l'absence de réseau ECS bouclé.

9.12.3.2.4.1 Modélisation de l'échangeur externe de production ECS (puisage)

Pour la modélisation du puisage, le débit aval de l'échangeur externe (au secondaire) est considéré égal au débit ECS moyen calculé au §9.12.3.1. La température entrant au secondaire l'échangeur est la température d'eau froide :

$$\mathrm{q}_{\mathrm{v,aval}}(\mathrm{h}) = \mathrm{qv}_{\mathrm{ef,ecs}}(\mathrm{h}) \quad (1938)$$

$$\theta_{retour,aval}(h) = \theta_{ef}(h) \quad (1939)$$

Efficacité de l'échangeur externe ECS :

Avant d'entrer dans la boucle itérative de puisage, on calcule l'efficacité de l'échangeur externe, $\varepsilon_{\mathrm{eff}}(\mathrm{h})$ selon la méthode du NUT, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

Bien que les débit côté distribution et primaire, $\mathrm{qv}_{\mathrm{ef,ecs}}(\mathrm{h})$ et $\mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h)$, puissent varier, on fera l'hypothèse que le coefficient d'échange $\mathrm{UA}_{\mathrm{ech}}$ reste applicable.

On calcule le débit primaire à appliquer au pas de temps h:

Cas d'un réseau primaire à débit constant ($\mathrm{Type}_{\mathrm{CirculateurPrep\_ECS}}$= 0: à vitesse constante):

$$\mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h) = \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim\_nom}}} \quad (1940)$$

Cas d'un réseau primaire à débit variable ($\mathrm{Type}_{\mathrm{CirculateurPrep\_ECS}}$= 1: à vitesse variable):

Dans le cas d'un réseau primaire à débit variable, le débit primaire est supposé évoluer linéairement en fonction du rapport des débits ECS. Le débit primaire ne peut pas descendre sous un débit minimum $Modmin \times \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim\_nom}}}$.

Ainsi :

$$\mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h) = MAX\left(\frac{\mathrm{q}_{\mathrm{v,aval}}(\mathrm{h})}{\mathrm{q}_{\mathrm{v,ECS,nom}}}; Modmin\right) \times \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim\_nom}}} \quad (1941)$$

Le nombre d'unité thermique NUT(h) de l'échangeur ECS est défini par la relation suivante :

$$NUT(h) = \frac{3600.UA_{ech}}{\rho_e.c_e.MIN(\mathrm{q}_{\mathrm{v,aval}}(\mathrm{h}); \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h))} \quad (1942)$$

Le rapport déséquilibre de l'échange thermique Rd(h) est, quant à lui, calculé comme suit :

$$Rd(h) = \frac{MIN(\mathrm{q}_{\mathrm{v,aval}}(\mathrm{h}); \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h))}{MAX(\mathrm{q}_{\mathrm{v,aval}}(\mathrm{h}); \mathrm{q}_{\mathrm{v_{prim}}}(h))} \quad (1943)$$

Si Rd (h) = 1 (transfert thermique à débits équilibrés), alors,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h)+1} \quad (1944)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-Rd(h))}}{1 - Rd(h).e^{-NUT(h).(1-Rd(h))}} \quad (1945)$$

Enfin, on souhaite calculer la température requise en entrée de l'échangeur côté ballon pour pouvoir réchauffer l'eau du réseau de distribution. Cette température est notée $\theta_{entree\_ech}(h)$. Elle dépend de l'efficacité de l'échangeur au pas de temps h, des débits de part et d'autre de ce dernier, ainsi que des températures départ et retour côté bâtiment :

$$\theta_{entree\_ech}(h) = \theta_{retour,aval}(h) + \frac{q_{v,aval}(h)}{\varepsilon_{eff}(h).MIN(q_{v,aval}(h); q_{v_{prim}}(h))}.\left(\theta_{depart,aval} - \theta_{retour,aval}(h)\right) \quad (1946)$$

Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage :

A chaque itération i de la boucle de puisage ECS, on applique la procédure du présent paragraphe.

La capacité à assurer le puisage dans le ballon va dépendre de la température de la zone du ballon à laquelle est raccordée le piquage départ connecté à l'échangeur externe, notée $\theta_{sortie,ballon}(i)$. Cette dernière est prise égale à la température de la zone du ballon à laquelle le piquage est connecté à l'issue de l'itération précédente :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{b[zp]}(i-1) \quad (1947)$$

Condition : Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree\_ech}(h)$, le puisage peut être assuré au moins en partie.

Cas d'un réseau primaire à débit constant ($Type_{CirculateurPrep\_ECS}$= 0: à vitesse constante):

La température en entrée de l'échangeur est pilotée par une vanne trois voies de manière à atteindre $\theta_{entree\_ech}(h)$, d'où :

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(i) - \varepsilon_{eff}(h).\frac{MIN\left(q_{v,aval}(h); q_{v_{prim}}(h)\right)}{q_{v,aval}(h)}.\left(\theta_{entree,ech}(h) - \theta_{retour,aval}(h)\right) \quad (1948)$$

Cas d'un réseau primaire à débit variable ($Type_{CirculateurPrep\_ECS}$= 1: à vitesse variable):

La température est directement la température de sortie du ballon de stockage, sans vanne intermédiaire, d'où:

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(i) - \varepsilon_{eff}(h).\frac{MIN\left(q_{v,aval}(h); q_{v_{prim}}(h)\right)}{q_{v,aval}(h)}.\left(\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{retour,aval}(h)\right) \quad (1949)$$

Dans les deux cas, la température retour ballon est égale à la température de sortie de l'échangeur :

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie\_ech}(i) \quad (1950)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est

plafonné par le volume minimal de zone du ballon V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = \frac{Q_{w,sto,unit}(i)}{\rho_e . c_e . \left(\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{sortie\_ech}(i)\right)} \quad (1951)$$

$$V_p\ (i) = MIN\left(V_{puisage}(i); V_{zmin}\right) \quad (1952)$$

Avec $\theta_{sortie,ballon}(h) = \theta_{b[zp]}(i)$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{w,sto,unit,report}(i) = Q_{w,sto,unit}(i) - V_p\ (i) . \rho_w . c_w . \left(\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie\_ech}(h)\right) \quad (1953)$$

Sinon, dans le cas où $\theta_{sortie,ballon}(h) < \theta_{entree\_ech}(h)$, la température du ballon est insuffisante pour assurer le puisage. L'échangeur n'est pas alimenté en eau, et la quantité d'énergie à fournir est reportée soit sur un appoint intégré, soit au pas de temps suivant:

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{amb}(h) \quad (1954)$$

$$V_{puisage}(i) = 0\ m^3 \quad (1955)$$

$$V_p\ (i) = 0\ m^3 \quad (1956)$$

$$Q_{w,sto,unit,report}(i) = Q_{req}(h) \quad (1957)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = vrai \quad (1958)$$

A la fin de chaque itération i, les températures du ballon et la quantité de chaleur $Q_{w,sto,unit}(i+1)$ sont recalculées selon les modalités du chapitre C_Sto_Ballon_de_Stockage de la méthode Th-BCE.

Pour rappel, la boucle itérative de bouclage se termine quand la condition suivante est remplie :

Si $ArretPuisage(i) = vrai$
OU $Q_{w,sto,unit,report\_e}(i) = 0\ Wh$
OU $V_p\ (i) = 0\ m^3$ *, alors :* (1959)
Fin de la boucle itérative de puisage

Ici se termine la procédure spécifique à la boucle itérative de puisage.

En l'absence de distribution ECS bouclée, la quantité d'énergie reportée est calculée comme suit :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w,sto,unit,report}(i) \quad (1960)$$

Calcul de la consommation électrique du circulateur primaire lors du puisage :

A l'issue de l'application de la boucle de puisage, que le puisage ait pu être assuré ou non, la consommation de circulateur primaire est comptabilisée au pas de temps h de la manière décrite ci-dessous :

Pour un circulateur à vitesse constante **(Type$_{CirculateurPrep_ECS}$ = 0: à vitesse constante):**

Le circulateur fonctionne à sa puissance nominale, pendant une durée égale à la durée du puisage ECS:

$$W_{circ,prim,puis}(h) = Pw_{circprim} \cdot \mathrm{t_{puis}(h)} \quad (1961)$$

Pour un circulateur à vitesse variable **($\mathrm{Type_{CirculateurPrep\_ECS}}$ = 1: à vitesse variable):**

Concernant la consommation de circulateur à vitesse variable, on suppose une relation similaire à celle d'un circulateur de distribution de chauffage à pression différentielle constante, telle qu'exprimée dans le chapitre C-DIST-Gestion/régulation des distributions de chauffage et de refroidissement du groupe de la méthode Th-BCE :

$$W_{circ,prim,puis}(h) = \mathrm{MIN}\left[1; \left(\frac{\mathrm{q_{v_{prim}}}(h)}{\mathrm{q_{v_{prim_{nom}}}}}\right)^{\frac{2}{3}}\right] . Pw_{circprim} \cdot \mathrm{t_{puis}(h)} \quad (1962)$$

A titre d'illustration, est l'évolution du rapport des puissances de circulateur à charge partielle en fonction du rapport des débits dans le cas vitesse variable représentée ci-dessous (avec Modmin = 0,3):

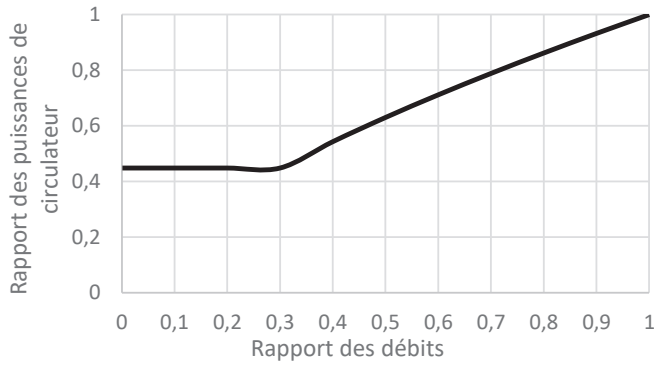


Figure 194: rapport des puissances de circulateur en fonction du rapport des débits d'eau

9.12.3.2.4.2 Modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé ($\mathrm{qv_{boucleecs}(h)} > 0$), on modélise séparément le prélèvement d'énergie correspondant au réchauffage du réseau bouclé ECS.

Deux cas de figure peuvent se présenter lorsque le ballon fonctionne en réchauffage de boucle :

- Soit le piquage retour est identique à celui utilisé lors des puisages. Dans ce cas, on injecte en partie basse du ballon de l'eau à température proche de la température retour de bouclage ECS, ce qui a pour effet de nuire à la stratification de l'ensemble.

- Soit le piquage retour est séparée lors des phases de réchauffage de boucle ECS ($\mathrm{Is_{Retour,boucle,separe}} = 1 : Oui$). Dans ce cas, on supposera ce piquage retour intervient en zone trois, que donc seules les deux zones hautes du ballon sont affectées par le prélèvement d'énergie nécessaire au réchauffage de la boucle.

Le réchauffage de boucle est modélisé par une dernière itération de puisage, à l'issue des calculs du §9.12.3.2.4.1, qu'il y ait eu un puisage ou non au pas de temps h. On utilise une représentation simplifiée, sans prendre en compte d'échangeur intermédiaire.

Le volume d'eau équivalent prélevé à la zone supérieure du ballon lors cette dernière itération est calculé comme suit :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{b[zp]}(i-1) \quad (1963)$$

$$V_{puisage}(i) = \frac{\mathrm{Qw_{rechaubouclе}(h)}}{\rho_e . c_e . \left(\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{sortie\_ech}(h)\right)} \quad (1964)$$

A la suite de ce prélèvement d'énergie, les températures du ballon sont à nouveau recalculées.

Si l'énergie disponible dans la zone haute du ballon est insuffisante pour assurer le réchauffage de la boucle ECS, il n'y a pas de prélèvement d'énergie. La quantité d'énergie $Q_{w,sto,unit,report}(i_{RB})$ de la dernière itération de réchauffage de boucle est ajoutée à la quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de la boucle itérative de puisage ($Q_{w,sto,unit,report}(i-1)$), soit :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w,sto,unit,report}(i_{RB}) + Q_{w,sto,unit,report}(i-1) \quad (1965)$$

Par ailleurs, on calcule consommation électrique du circulateur pour la phase de réchauffage de boucle $W_{circ,prim,RB}(h)$:

$$W_{circ,prim,RB}(h) = Pw_{circprim,RB} . \left(1 - \mathrm{t_{puis}(h)}\right) \quad (1966)$$

La consommation totale de circulateur primaire au pas de temps h est enfin :

$$W_{circ,prim}(h) = W_{circ,prim,puis}(h) + W_{circ,prim,RB}(h) \quad (1967)$$

9.12.3.2.4.3 Alerte sur le nombre d'heures successives en situation de report d'énergie

A l'issue de la dernière itération de la boucle puisage et de la modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon, on dispose de la quantité d'énergie reportée au pas de temps h+1, $Q_{w,sto,unit,report}(h)$.

Si le nombre d'heures successives où $Q_{w,sto,unit,report}(h)$ est non-nul dépasse les 12h, le calcul renvoie un message d'erreur et est suspendu.

9.12.3.2.5 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage base dans un ballon principal et appoint dans un ballon séparé (Type_Assemblage = 2)

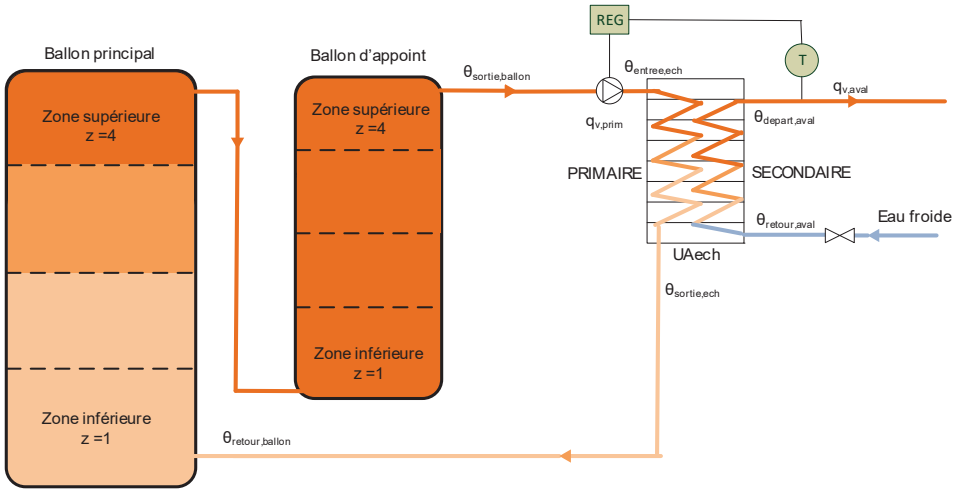


Figure 195: schéma d'illustration de l'assemblage Base et appoint dans stockage séparé avec échangeur externe pour la production ECS (sans bouclage)

Dans le cas d'un assemblage de type base et appoint dans ballon séparé (Type_Assemblage = 2, voir schéma ci-dessus), les éléments d'algorithmes évoqués au §9.12.3.2.4, pour un seul ballon de stockage, restent applicables. La boucle itérative est modifiée selon les modalités mentionnées dans le chapitre S2_ GEN_ Assemblage constitué d'un ou plusieurs ballon et d'un ou plusieurs générateurs de la méthode Th-BCE.

Dans le cas de l'échangeur externe, on pose les hypothèses suivantes :

- La zone haute du ballon d'appoint est connectée à l'entrée de l'échangeur externe ECS,
- L'eau sortant de l'échangeur externe côté primaire est injectée en partie basse du ballon principal, à la température $\theta_{retour,ballon}$,
- La zone haute du ballon principal est connectée à la zone basse du ballon appoint,
- Dans le cas où le piquage retour est séparée lors des phases de réchauffage de boucle ECS ($Is_{Retour,boucle,separe} = 1: Oui$), on supposera que ce dernier est connecté à la zone 1 du ballon d'appoint.

9.12.3.2.6 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage appoint séparé instantané (Type_Assemblage = 3)

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'assemblage peut jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série de l'échangeur sur le secondaire, vient alors compléter la

puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme « **Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage »** décrit au § 9.12.3.2.4 est modifié comme suit :

Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree\_ech}(h)$, le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique les équations (1948) à (1953).

Sinon, si $\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{retour\_aval}(h)$, l'échangeur externe peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Dans ce cas, sa contribution au réchauffement de l'ECS est limitée par la température dont on dispose en sortie du ballon, d'où :

$$\theta_{entree\_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(h) \quad (1968)$$

$$\theta_{sortie\_ech}(i) = \theta_{entree\_ech}(i) - \varepsilon_{eff}(h).\frac{MIN(q_{v,aval}(h); \mathrm{q_{v\_prim}})}{\mathrm{q_{v\_prim}}}.\left(\theta_{entree\_ech}(i) - \theta_{retour,aval}(h)\right) \quad (1969)$$

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie\_ech}(i) \quad (1970)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est plafonné par le volume minimal parmi ceux des zones du ballon, V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = q_{v_{prim}} \quad (1971)$$

$$V_p\ (i) = MIN\left(V_{puisage}(i); V_{zmin}\right) \quad (1972)$$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - V_p\ (i).\rho w.cw.\left(\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie\_ech}(h)\right) \quad (1973)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = vrai \quad (1974)$$

Par ailleurs, le paragraphe 9.12.3.2.4.3 relatif aux alertes en cas de report d'énergie prolongé n'est pas applicable au cas de l'appoint séparé instantané, dans la mesure où un générateur assure nécessairement le rôle d'appoint dans ce cas.

9.12.3.3 *Accumulateur en eau technique avec échangeur immergé de production ECS*

Ce paragraphe s'applique dès lors que *Type_Accumulateur_ECS = 1) Ballon en eau technique avec échangeur interne.*

Ce type d'accumulateur n'est pas associable avec un assemblage de type base dans un ballon principal et appoint dans un ballon séparé (Type_Assemblage = 2). Ainsi, si *Type_Accumulateur_ECS = 1 et Type_Assemblage = 2*, un message d'erreur est renvoyé avant le lancement du calcul.

9.12.3.3.1 Principe

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et la quantité d'énergie prélevée dans les différentes zones du ballon en fonction des températures et du débit côté bâtiment.

Dans le cas d'un échangeur interne, l'eau sanitaire circule dans un échangeur immergé dans le ballon (ou double peau) partant du bas du ballon, jusqu'en haut du ballon, tel que représenté en Figure 196. Le débit d'eau circulant dans cet échangeur est directement le débit ECS, sans circulateur supplémentaire.

On introduit $h_{\_bas,ech,rel}$ et $h_{\_haut,ech,rel}$, les hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en % (0-100%), telles que représentées ci-dessous :

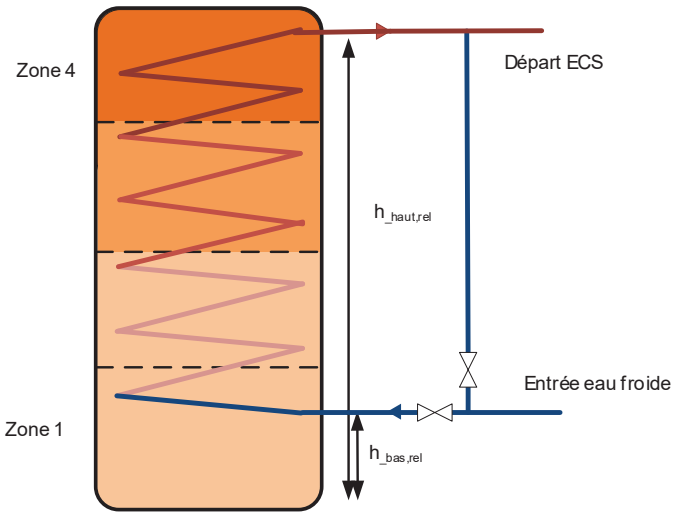


Figure 196: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur interne de production ECS

9.12.3.3.2 Conventions de calcul

Là encore, le nombre de zone par ballon est fixé à 4 et, quelle que soit la fraction faux couverte par l'appoint, le ballon est décomposé en 4 zones de tailles identiques.

$$N_{zone} = 4 \quad (1975)$$

$$V_{zone} = \frac{V}{N_{zone}} \quad (1976)$$

Par ailleurs, conventionnellement, l'échangeur interne est supposé couvrir l'intégralité de la hauteur du ballon: $h_{\_haut,ech,rel}$ =100% et $h_{\_bas,ech,rel}$ = 0%. On considèrera que cet échangeur est réparti uniformément sur toute sa longueur, et que, par conséquent, le coefficient d'échange thermique entre l'échangeur et le ballon est le même sur chacune des zones du ballon (voir relation (1981)).

9.12.3.3.3 Préprocesseur pour le cas d'un échangeur interne

Afin de modéliser l'échangeur de production ECS interne, il nous faut déterminer la coefficient d'échange thermique de l'échangeur UAech à partir de la puissance thermique nominale P_{echECS} . Ce calcul n'est réalisé qu'une seule fois, au début de la simulation.

La puissance thermique nominale P_{echECS} , en kW, correspond à la puissance thermique de l'échangeur interne ECS pour les conditions suivantes :

- ballon stabilisé à sa température de consigne $\theta_{\_cons}$, selon valeurs du Tableau 289,
- température d'eau froide de 15°C,
- température d'ECS de 5°C inférieure à $\theta_{\_cons}$ (soit 50°C en accumulateur individuel et 55°C en collectif).

Le débit d'ECS circulant dans l'échangeur au point de fonctionnement nominal est le suivant:

$$q_{v,ECS,nom} = \frac{1000 \,.\, P_{echECS}}{\rho_e . c_e . (\theta cons - 5°C - 15°C)} \quad (1977)$$

Le coefficient UA_{ech} à ce point de fonctionnement nominal est calculé à partir des équations suivantes (description équivalente de l'échangeur en considérant un débit primaire infini):

$$\varepsilon_{eff,nom} = \frac{50\,°C - 15\,°C}{\theta cons - 15\,°C} \quad (1978)$$

$$NUT_{nom} = -\ln(1 - \varepsilon_{eff,nom}) \quad (1979)$$

$$UA_{ech} = \rho_e . c_e . q_{v,ECS,nom} . NUT_{nom} \quad (1980)$$

Le coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne, $UA_{\_ech}$ est réparti pour chacune des zones qu'il traverse, au prorata des tailles de ces zones et de la position de l'échangeur. Soit $UA_{\_ech[z]}$ le coefficient de transfert thermique correspondant à la portion qui traverse la zone d'indice z :

$$UA_{ech[z]} = \frac{V_{zone}}{V} \,.\, UA_{ech} \quad (1981)$$

9.12.3.3.4 Algorithme au pas de temps horaire : cas des assemblages base seule ou base et appoint intégré (Type_Assemblage = 0 ou 1)

9.12.3.3.4.1 Modélisation de l'échangeur interne de production ECS (puisage)

Pour la modélisation du puisage, le débit aval circulant à l'intérieur de l'échangeur interne est considéré égal au débit ECS moyen calculé au §9.12.3.1. La température entrant dans l'échangeur est la température d'eau froide :

$$q_{v,aval}(h) = qv_{ef,ecs}(h) \quad (1982)$$

$$\theta_{retour,aval}(h) = \theta_{ef}(h) \quad (1983)$$

Dans un premier temps, pour chaque zone du ballon, on définit un Nombre d'Unité Thermique $NUT_{ech[z]}(h)$ par la relation suivante :

Pour z allant de 1 à N_{zone} :

$$NUT_{ech[z]}(h) = \frac{UA_{ech[z]}}{q_{v,aval}(h).\rho_w.c_w} \quad (1984)$$

Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage :

Chaque zone du ballon peut fournir à l'échangeur une quantité d'énergie qui dépend de sa température initiale. En parallèle, la quantité d'énergie fournie réduit la température des zones au fur et à mesure où le puisage s'effectue. Ainsi, il peut potentiellement survenir un instant « t » où la température en sortie d'échangeur devient inférieure à la température d'ECS souhaitée.

Pour prendre en compte cette logique, on recourt à la simplification suivante :

- le calcul utilise sur une boucle itérative à l'intérieur du pas de temps. A chaque itération, on réalise un nouveau calcul des températures de zone et de sortie d'échangeur en ne considérant qu'une fraction de la quantité d'énergie totale puisée, $Q_{iter,ecs}$, équivalente à une diminution globale de la température de ballon de 2°C. Ce pas d'itération est choisi pour que la dérive de température de sortie soit suffisamment faible sur une itération donnée,

- à chaque itération, si la température en sortie d'échangeur $\theta_{sortie,ballon}$ est suffisante, le puisage a lieu. Dans le cas contraire, on reporte la quantité d'énergie qui n'a pas pu être prélevée dans $Q\_{w\text{-}sto\text{-}int\text{-}report}(i)$.

Soit « *i* » l'entier utilisé comme indice de la boucle itérative. Chaque itération de la boucle se voit attribuer une fraction du besoin ECS égale à $Q_{iter,ecs}$, calculée comme expliquée plus haut :

$$Q_{iter} = V_{tot}.\rho_w.c_w.2°C \quad (1985)$$

Ensuite, au cours de l'itération :

$$Q_w(i) = MIN\left(Q_{w-sto-unit}(i)\,;\,Q_{iter,ecs}\right) \quad (1986)$$

Pour la zone d'indice z = 1:

$$Q_{max[1]}(i) = V_{[1]}.\rho_w.c_w.MAX\left(0;\theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h)\right) \quad (1987)$$

$$\Delta\theta_{deb[1]}(i) = MAX\left(0\,;\,\frac{\theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h)}{\frac{1}{NUT_{ech[1]}(h)} + 0{,}5}\right) \quad (1988)$$

Pour chaque zone d'indice z > 1:

$$Q_{max[z]}(i) = V_{[z]}.\rho_w.c_w.MAX\left(0\,;\,\theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{entrant}(h)\right) \quad (1989)$$

$$\Delta\theta_{deb[z]}(i) = MAX\left(0\,;\,\frac{\theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h) - \sum_{k=1}^{z-1}\Delta\theta_{deb[k]}(i)}{\frac{1}{NUT_{ecs[z]}(h)} + 0{,}5}\right) \quad (1990)$$

La température de puisage ECS disponible au début de l'itération i est donc :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{entrant}(h) + \sum_{z=1}^{Nzone}\Delta\theta_{deb[z]}(i) \quad (1991)$$

Cas $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon sont suffisantes pour puiser à la température souhaitée. On prélève une quantité d'énergie dans chaque zone proportionnellement à sa contribution à l'élévation de la température d'ECS :

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN\left(Q_{max,ecs[z]}(i)\,;\ \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{retour,aval}(h)}\,.\,Q_w(i)\right) \quad (1992)$$

Cas $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)}$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon ne sont pas suffisantes pour puiser à la température d'usage souhaitée.

$$Q_{prelevee[z]}(i) = 0\ Wh \quad (1993)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}\ (i) = Q_{w-sto-unit}(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (1994)$$

9.12.3.3.4.2 Modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé ($qv_{boucleecs}(h) > 0$), on modélise séparément le prélèvement d'énergie correspondant au réchauffage du réseau bouclé ECS. L'approche est identique à celle des échangeurs externes : voir §9.12.3.2.4.2.

9.12.3.3.4.3 Alerte sur le nombre d'heures successives en situation de report d'énergie

A l'issue de la dernière itération de la boucle puisage et de la modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon, on dispose de la quantité d'énergie reportée au pas de temps h+1, $Q_{w,sto,unit,report}(h)$.

Si le nombre d'heures successives où $Q_{w,sto,unit,report}(h)$ est non-nul dépasse les 12h, le calcul renvoie un message d'erreur et est suspendu.

9.12.3.3.5 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage appoint séparé instantané (Type_Assemblage = 3)

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'échangeur interne peut jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série avec l'échangeur, vient alors compléter la puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme décrit au §9.12.3.3.4.2 devient alors le suivant :

Si $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)}$: le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique l'équation (1992) pour chaque zone du ballon.

Sinon, si $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)}$ et $\boldsymbol{\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{retour,aval}(h)}$, l'échangeur interne peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Sa puissance thermique est limitée par la température en sortie du ballon. A chaque itération de puisage, il y a donc une certaine quantité d'énergie qui est couverte par le générateur d'appoint.

Le calcul de la quantité d'énergie prélevée dans le ballon est modifié de la manière suivante :

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN\left(Q_{max,ecs[z]}(i)\,;\ \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{depart,aval}(h)\ - \theta_{retour,aval}(h)}\,.\,Q_w(i)\right) \quad (1995)$$

A l'itération i, la quantité d'énergie qui resterait à fournir pour atteindre $\theta_{depart,aval}(h)$ en sortie de production ECS est ajoutée à la part non-assurée par le ballon $Q_{non-assuree}(i)$:

$$Q_{non-assuree}(i) = Q_{non-assuree}(i-1) + Q_w(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (1996)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}\ (i) = Q_{w-sto-unit}(i) - Q_w(i) \quad (1997)$$

Ici se termine l'algorithme relative à une itération de la boucle de puisage.

A l'issue de la boucle de puisage, la quantité d'énergie $Q_{non-assuree}(i)$ de la dernière itération est ajoutée à la quantité d'énergie totale à fournir par l'appoint ECS :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w-sto-unit-report}\ (i) + Q_{non-assuree}(i) \quad (1998)$$

9.13 **S1_GEN_générateur_pour_ballon**

9.13.1 INTRODUCTION

Un ballon de stockage possède une ou plusieurs source(s) de chaleur. Le générateur, qu'il soit de base ou d'appoint, fournit une énergie au ballon en fonction de ces paramètres de gestion-régulation.

Pour les générateurs à eau, le transfert de chaleur s'effectue à l'aide d'un échangeur, placé dans ou autour du ballon de stockage. La présence d'un échangeur vient modifier les variables (température, énergie) vues par le générateur.

Le modèle ci-dessous décrit l'assemblage d'un générateur et d'un échangeur. L'assemblage se comporte, d'un point de vue algorithmique, comme un générateur : les données d'entrée (énergie requise, températures aval, etc.) et de sortie (énergie fournie, consommation, etc.) sont identiques.

9.13.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 290 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage.

Entrées du système

Nom	Description	Unité
Q_{req_sto} *(h)*	Demande en énergie transmise à l'assemblage par le ballon (base ou appoint)	Wh
$\theta_{b\_moy\_ech}$*(h)*	Température moyenne du ballon vue par l'échangeur d'un générateur (base ou appoint)	°C

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_STO_échangeur_ballon *Voir fiche générateur*				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	Voir fiche C_STO_échangeur_ballon *Voir fiche générateur*				

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q^{assemblage}_{cef}(h)\}$	Matrice de consommation horaire en énergie finale de l'assemblage	Wh
$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques du (ou des) générateur(s) vers l'ambiance.	Wh
$Q_{fou\_sto}(h)$	Energie fournie au ballon (base ou appoint)	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
	Voir fiche(s) de l'assemblage	
$Q_{req\_sto\_base}(h)$	Demande en énergie transmise au générateur de base par le ballon	Wh
$Q_{req\_sto\_ap}(h)$	Demande en énergie transmise au générateur d'appoint par le ballon	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
	Voir fiche(s) de l'assemblage		

Tableau 290 : Nomenclature du modèle

9.13.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DU GENERATEUR POUR STOCKAGE

L'assemblage est composé de deux modèles : un modèle de générateur et un modèle d'échangeur.

Les données d'entrée du modèle de générateur pour stockage sont :

- l'énergie requise, qui est une donnée calculée dans les fiches « gestion-régulation » (base ou appoint, selon le cas) ;
- la température moyenne du ballon vue par l'échangeur, calculée dans les algorithmes du ballon.

9.13.3.1 *Prétraitement des données*

L'assemblage attend une demande d'énergie de la part du ballon de stockage.

Pour un fonctionnement en base,

$$Q_{req\_sto} = Q_{req\_sto\_base} \quad (1999)$$

Pour un fonctionnement en appoint,

$$Q_{req\_sto} = Q_{req\_sto\_ap}$$

9.13.3.2 *Ordre des calculs*

1) Première étape : l'échangeur

Faisant le lien entre le ballon de stockage et le générateur, l'échangeur joue un rôle important dans la qualité du transfert de chaleur. Il est caractérisé par un coefficient d'échange UA (en W/K). L'impact d'un échangeur se traduit par une augmentation de la température de fluide primaire (θ_{aval}).

2) Deuxième étape : le générateur

L'échangeur ne modifie pas l'énergie requise au niveau du ballon. A partir de cette donnée calculée dans la gestion-régulation du ballon (base ou appoint) et de la nouvelle température aval du générateur, les algorithmes déterminent l'énergie qui sera fournie au ballon ainsi que la consommation du générateur et ses éventuelles pertes vers l'ambiance.

9.13.3.3 *Description de l'assemblage*

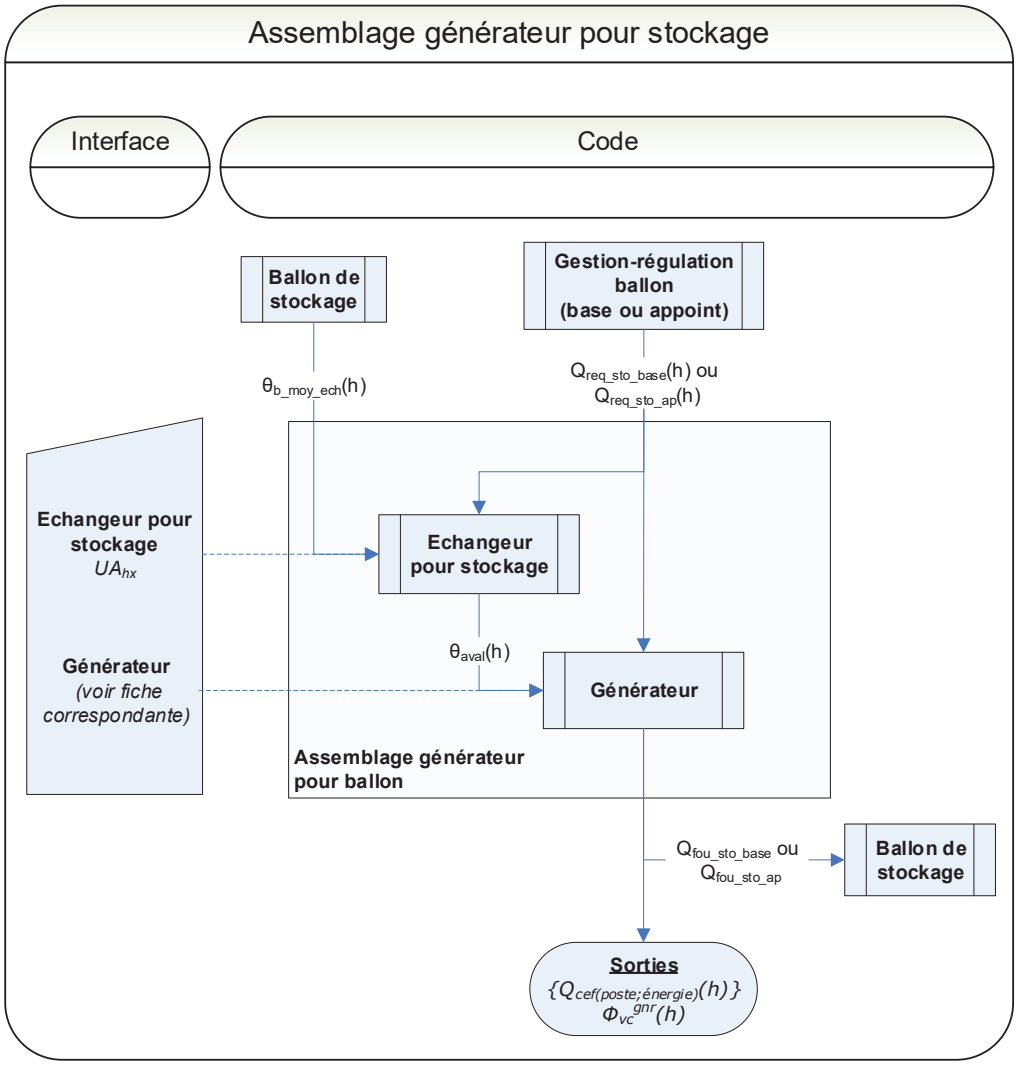


Figure 197 : schéma d'assemblage du modèle de générateur pour stockage

9.13.3.4 *Post-traitement des données*

La simulation donne les énergies fournie et consommée par le générateur. Elle donne aussi les pertes thermiques totale du générateur vers le volume chauffé.

9.13.3.4.1 Energie fournie au ballon

Pour un fonctionnement en base,

$$Q_{fou\_sto} = Q_{fou\_sto\_base} \quad (2000)$$

Pour un fonctionnement en appoint,

$$Q_{fou\_sto} = Q_{fou\_sto\_ap}$$

9.13.3.4.2 Calcul des consommations d'ECS de l'assemblage

La matrice des consommations en énergie finale de l'assemblage est égale à celle du générateur : $\left\{Q^{gnr}_{cef(poste;Idengen)}(h)\right\}$

9.13.3.4.3 Calcul des pertes thermiques récupérables du générateur

De même, les pertes thermiques du générateur $\Phi^{gnr}_{vc}(h)$ est une donnée calculée dans les algorithmes du générateur.

On supposera que les pertes thermiques de l'échangeur vers le volume chauffé sont nulles.

9.14 S2_ GEN_ Assemblage constitué d'un ou plusieurs ballon et d'un ou plusieurs générateurs

9.14.1 INTRODUCTION

Dans la méthode de calcul Th-BCE, les ballons de stockage d'eau chaude sont modélisés au sein d'assemblages contenant des générateurs, assurant le maintien en température du stockage, des échangeurs et un environnement de gestion-régulation.

Des modèles de ballon d'eau chaude, de gestion-régulation et de générateurs ont été décrits dans des fiches algorithmes « composant », communiquant entre elles via l'assemblage, au pas de temps horaire. On définit ici l'assemblage de ces différents modèles élémentaires pour obtenir un modèle, connecté ensuite aux réseaux de distribution du bâtiment, au travers du niveau « génération ».

9.14.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 291 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation.

Les paramètres intrinsèques ou d'intégration des différents composants de l'assemblage (ballon, générateur…) ne sont pas rappelés dans la présente nomenclature.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Gestion-régulation de la génération	Q_{req_ecs} (h) Q_{req_ch} (h)	Quantité d'énergie à fournir en ECS et en chauffage au pas de temps h, calculée au niveau de la génération	Wh
	$\theta_{max,ECS}^{gen}$ $\theta_{max,CH}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution intergroupe connectés à la génération *ge*n (en ECS ou en chauffage)	°C
	$qv_{\_boucle\ ECS}(h)$	Débit volumique circulant dans le réseau bouclé ECS	m^3/h
	$V_{\_soutire,ECS}(h)$	Volume d'eau chaude non-mitigé (à la température départ) soutiré aux points de puisage au pas de temps h	m^3
	$\theta_{retour,aval,ECS}(h)$	Température retour de la distribution ECS au pas de temps h	°C
	$\theta_{depart,aval,ECS}(h)$	Température départ attendue par la gestion-régulation de la génération au pas de temps h	°C
	$qv_{\_CH}(h)$	Débit volumique total circulant dans le réseau de distribution de chauffage	m^3/h
	$\theta_{retour,aval,CH}(h)$	Température retour moyenne des distributions de chauffage au pas de temps h	°C
	$\theta_{depart,aval,CH}(h)$	Température départ de chauffage attendue par la gestion-régulation de la génération au pas de temps h	°C
	$Id_{fonction}$(h)	Indicateur de fonction accompagnant le Q_{req} *(h)* (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*)	-

Climat ext.	$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante autour des composants de l'assemblage	°C
	h_{leg}	Heure légale	h
	$\theta_{cw}(h)$	Température d'eau froide	°C
	$\theta_{e}(h)$	Température de l'air extérieur	°C

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$V_{tot}^{principal}$	Volume total du ballon principal	m^3	*0*	+∞	
$V_{tot}^{secondaire}$	Volume total du ballon secondaire	m^3	*0*	+∞	
f_{aux}	Fraction effective concernée par l'appoint dans le cas d'un ballon base+appoint	-	0	1	-
$V_{z,min}$	Volume minimal parmi ceux des zones du ballon principal et du ballon secondaire	m^3	*0*	+∞	
	(Voir fiches algorithmes de l'assemblage)				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$nb_{assembl}$	Nombre d'assemblages « ballon base solaire appoint intégré » identiques à considérer au niveau de la génération	-	1	+∞	-
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage: *- 1 : Chauffage,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,*	Ent	1	5	-
$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage : *0- Ballon base sans appoint* *1- Ballon base plus appoint intégré* *2- Ballon base plus appoint dans stockage séparé* *3- Ballon base plus appoint séparé instantané*	Ent.	0	3	-
Id_{pos_gen}	Position de la génération : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.* *(Voir fiches algorithmes de l'assemblage)*	Ent.	0	1	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q^{assemblage}_{cef}(h)\}$	Matrice de consommation horaire d'eau chaude sanitaire en énergie finale de l'assemblage	Wh

$\Phi_{vc}^{sto}(h)$	Pertes thermiques du (ou des) ballon(s) de stockage vers l'ambiance.	Wh
$\Phi_{vc}^{gnr\_base}(h)$	Pertes thermiques du (ou des) générateur(s) de base vers l'ambiance.	Wh
$\Phi_{vc}^{gnr\_ap}(h)$	Pertes thermiques du (ou des) générateur(s) d'appoint vers l'ambiance.	Wh
$Q_{fou,ECS}(h)$ $Q_{fou,CH}(h)$	Quantité d'énergie fournie par l'assemblage au pas de temps h en ECS et chauffage	Wh
$Q_{rest,ECS}(h)$ $Q_{rest,CH}(h)$	Quantité d'énergie qui n'a pas pu être fournie par l'assemblage au pas de temps h en ECS et chauffage	Wh
$nbh_{temp\_sto\_insuff}$	Nombre d'heures consécutives pendant lesquelles le ballon n'a pas atteint sa température de consigne (zone chauffée par l'appoint).	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{entrant,ECS}(h)$ $\theta_{entrant,CH}(h)$	Température d'eau entrant dans l'assemblage production-stockage pour le poste ECS et le poste chauffage	°C
$Q_{w\_sto\_unit}(h)$	Quantité d'énergie à fournir par le ballon	Wh
$\phi_{pertes}(h)$	Pertes thermiques de l'ensemble du ballon de stockage au pas de temps h	Wh
	(Voir fiches algorithmes de l'assemblage)	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

Tableau 291 : Nomenclature des différentes variables du modèle de ballon base avec échangeur et appoint intégré

9.14.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Ce paragraphe a pour objectif de préparer, à partir des informations de puissance et de température à fournir aux réseaux de distributions intergroupes (compilées par la gestion-régulation de la génération), le jeu de données d'entrées nécessaire aux différents modèles constituant l'assemblage. L'ordre des calculs est présenté ci-après.

Les données d'entrée sont :

1. Les informations issues de la gestion-régulation de la génération : les besoins demandés par le (ou les) distribution(s) intergroupe(s), la température maximale de fonctionnement,…

2. Des températures externes à l'assemblage qui influent sur le ballon.

9.14.3.1 ***Préprocesseur***

Ce paragraphe consiste à évaluer des paramètres d'intégration (propres à l'assemblage) et à calculer des données d'entrée des fiches constituant l'assemblage.

9.14.3.1.1 Type de production

Les différents types d'assemblage constitué d'un ou plusieurs ballons et de générateurs sont les suivants :

Type_$_{prod_stockage}$	Définition	Description
0	Base seule	Assemblage constitué d'un ballon et d'un générateur unique connecté au ballon par piquages ou échangeur
1	Base et appoint intégré	Assemblage constitué d'un ballon, d'un générateur principal (base) et d'un générateur secondaire (appoint) connectés au ballon par piquages ou échangeurs
2	Base et appoint dans un second ballon séparé	Assemblage constitué d'un ballon principal, associé à un générateur principal (base) et un ballon secondaire associé à un générateur secondaire (appoint)
3	Base et appoint séparé instantané	Assemblage constitué d'un ballon principal, associé à un générateur principal (base) et d'un générateur d'appoint placé en série du ballon

Tableau 292 : Liste des différents types d'assemblages

Ces assemblages permettent de modéliser des systèmes type :
- Ballon de stockage à effet joule
- Chauffe-eau thermodynamique
- Production collective par chaudière gaz, chaudière bois, pompe à chaleurs associées à un ou plusieurs ballons de stockage
- Chauffe-eau solaire individuel avec énergie d'appoint
- …

9.14.3.1.2 Fonction de l'assemblage

L'assemblage peut assurer les fonctions suivantes :

- Chauffage seul ($Id_{\_fousto} = 1$),

- ECS seule ($Id_{\_fousto} = 3$),

- Chauffage et ECS ($Id_{\_fousto} = 4$),

Dans le cas d'un assemblage chauffage seul ou ECS seule, les générateurs de base et/ou d'appoint peuvent, en plus de réchauffer le ballon ou les ballons, assure le chauffage par connexion directe au réseau de distribution, ou la production ECS instantanée (Id_{fougen}^{base}= 4 et/ou Id_{fougen}^{ap} = 4). Dans ce cas, pour le poste supplémentaire, ils sont traités comme des générateurs instantanés au sens de la fiche C_GEN_Gestion/régulation de la génération.

9.14.3.1.3 Position de l'assemblage

Le positionnement du ballon (il en va de même pour les générateurs de base et d'appoint) est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

9.14.3.1.4 Position du générateur de base

Par hypothèse, l'échangeur du générateur de base se situe dans la zone inférieure du ballon :

$$z_{base} = 1 \quad (2001)$$

9.14.3.1.5 Température de consigne d'eau dans le ou les ballons

Chaque générateur connecté au ballon et associé à un thermostat de pilotage, pour lequel une température de consigne est définie. Plusieurs contraintes s'appliquent aux température de consigne définie pour les générateurs.

Dans le cas où l'assemblage contient un générateur de base et un générateur d'appoint, la température de consigne du générateur de base est nécessairement définie supérieure ou égale à la température de consigne du générateur d'appoint.

Dans le cas d'un ballon de stockage assurant l'ECS ($id_{\_fousto}$ = 3 ou $id_{\_fousto}$ = 4), la température de consigne θ_{c_base} *ou* θ_{c_ap} définie au niveau ne peut pas être inférieure à 55°C. Elle ne peut pas non plus être inférieure à la température de départ des réseaux de distribution d'ECS, $\theta_{max,ECS}^{gen}$.

De plus, dans le cas de ballon ECS seulement ($Id_{\_fousto}$ = 3), la température de consigne des générateurs de base et appoint est définie conventionnellement à 55°C (elle n'est pas paramétrable) :

$$\theta_{c\_base} = \theta_{c\_ap} = 55\ °C \quad (2002)$$

Dans le cas d'un ballon d'hydroaccumulation pour le chauffage ($Id_{\_fousto}$ = 1 ou $id_{\_fousto}$ = 4), la température de consigne des générateurs ne peut pas être inférieure à la température départ maximale définie au niveau des réseaux de distribution de chauffage, $\theta_{max,CH}^{gen}$.

Dans le cas d'un assemblage avec un ballon principal et un ballon secondaire ($Type_{\_prod\_stockage}$ = 2), la consigne de la base θ_{c_base} est applicable au ballon principal et la consigne de l'appoint au ballon secondaire $\theta_{c\_ap.}$

9.14.3.1.6 Calcul du volume minimal de l'ensemble des zones du ou des ballons

Dans le cas d'un assemblage Base et appoint dans un second ballon séparé ($Type_{\_prod\_stockage}$ = *2*) :

$$V_{z,min} = MIN\left(V_{z,min}^{principal}; V_{z,min}^{secondaire}\right) \quad (2003)$$

Où $V_{z,min}^{principal}$ *et* $V_{z,min}^{secondaire}$ sont les volumes de zone minimaux du ballon principal et du ballon d'appoint.

9.14.3.1.7 Calcul du nombre d'itérations maximal pour la boucle itérative

Le nombre total d'itérations servant à calculer le volume total puisé dans un ballon est égal à :

Cas d'un assemblage *Base seule (Type_prod_stockage = 0) ou* Base et appoint séparé instantané (*Type_prod_stockage = 3)* :

$$Nb_{iter\_vp} = 4$$

Cas d'un assemblage *Base et appoint intégré (Type_prod_stockage = 1) :*

$$Nb_{iter\_vp} = arrondi..inf\left(\frac{2}{min(f_{aux}, 1 - f_{aux})}\right) \quad (2004)$$

Cas d'un assemblage *Base et appoint dans un second ballon séparé (Type_prod_stockage = 2)* :

$$Nb_{iter\_vp} = arrondi..inf\left(\frac{V_{tot}^{principal} + V_{tot}^{secondaire}}{V_{z,min}}\right)$$

9.14.3.2 *Traitement horaire dans le cas d'un assemblage à un seul ballon de stockage*

Le présent paragraphe concerne le traitement algorithmique réalisé à chaque pas de temps de simulation.

9.14.3.2.1 Schéma générique d'assemblage des composants

La figure ci-dessous représente les communications entre composants de l'assemblage dans un pas de temps de simulation :

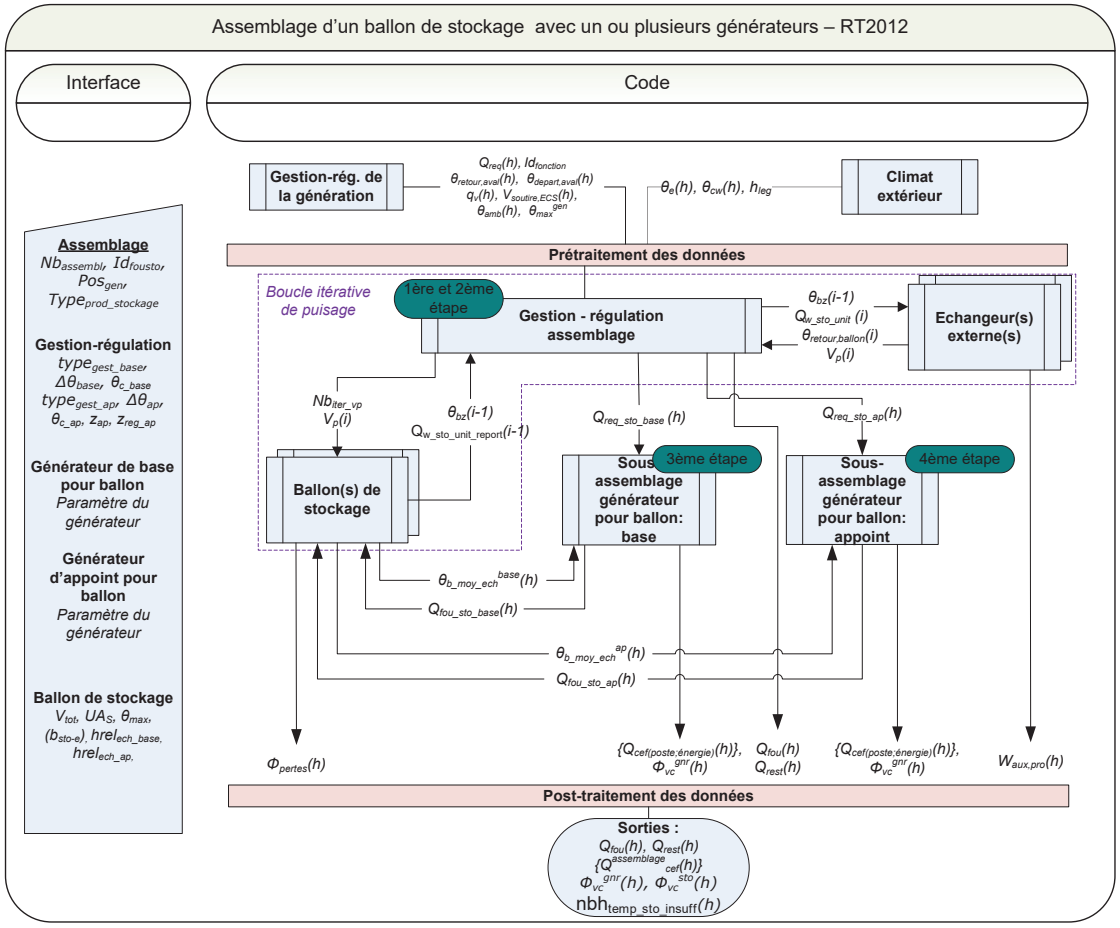


Figure 198 : Schéma générique d'un assemblage de ballons et de générateurs

9.14.3.2.2 Déroulement des calculs (cas générique)

Au début de pas de temps, le champ de température du ballon à la fin du pas de temps précédent est connu.

Quel que soit le type d'assemblage, les calculs sur un pas de temps se déroulent selon la trame suivante. En l'absence de générateur d'appoint, les étapes concernées ne sont pas prises en compte :

1. **Première étape : volume puisé et énergie requise pour l'ECS**

Par hypothèse, le puisage d'ECS est supposé intervenir en premier lieu, en aval d'un éventuellement prélèvement d'énergie stockée pour le chauffage des locaux.

La première étape débute par d'appel de la boucle itérative pour le calcul du volume puisé d'ECS. Ce calcul fait intervenir une communication itérative entre la fiche «C_STO_gestion_régulation_ballon », la fiche « C_STO_Ballon_de_stockage » et éventuellement la fiche « C_STO_échangeur_ballon».

La quantité d'énergie à fournir $Q_{req,ECS}(h)$, la température d'eau entrante (retour distribution bouclée $\theta_{retour,aval,ECS}(h)$ ou température d'eau froide $\theta_{cw}(h)$) ainsi que la température départ à assurer sont des données d'entrée de la présente fiche algorithme.

Dans le cas d'un réseau de distribution ECS bouclé, la température d'eau moyenne entrant dans l'assemblage $\theta_{entrant,ECS}(h)$ est calculée comme suit :

$$\theta_{entrant,ECS}(h) = \frac{V_{soutire,ECS}(h).\theta_{cw}(h) + qv_{boucleECS}(h).\theta_{retour,aval,ECS}(h)}{V_{soutire,ECS}(h) + qv_{boucleECS}(h)} \quad (2005)$$

La quantité d'énergie à fournir par le ballon est notée $Q_{w\_sto\_unit}(h)$. Lors de cette première étape, elle est calculée comme suit :

$$Q_{w-sto-unit}(h) = \frac{Q_{req,ECS}(h)}{Nb_{assemblage}} \quad (2006)$$

Le principe de la boucle itérative est le suivant : à chaque itération, le volume puisé calculé est envoyé aux algorithmes des ballons de stockage. Le volume puisé ne peut pas excéder le volume minimal de zone, $V_{z,min}$.

A chaque itération, les températures des ballons sont actualisées sans tenir compte ni des apports d'énergie ni des pertes de stockage.

Le nombre d'itération de la boucle ne peut pas excéder $Nb\_{iter,vp}$.

A l'issue de la boucle itérative, si l'intégralité de la quantité d'énergie $Q_{req,ECS}(h)$ n'a pas pu être fournie, il subsiste une quantité d'énergie restant à couvrir, notée $Q_{restECS}(h)$:

$$Q_{restECS}(h) = Q_{w-sto-unit-report}(i-1) \quad (2007)$$

Où « i-1 » représente ici la dernière itération de la boucle.

Par ailleurs, on introduit la quantité d'énergie fournie par l'assemblage en ECS :

$$Q_{fouECS}(h) = Q_{reqECS}(h) - Q_{restECS}(h) \quad (2008)$$

A la fin de la boucle itérative, le champ de température du ballon après le puisage est connu, ce qui permet de quantifier l'énergie à fournir au ballon pour que ses températures atteignent la

température de consigne.

2. Deuxième étape : quantité d'énergie prélevée pour le chauffage des locaux

La seconde étape est l'appel de la boucle itérative pour le calcul de la quantité d'énergie prélevée pour le chauffage des locaux. A l'instar de la première étape, ce calcul fait intervenir une communication itérative entre la fiche «C_STO_gestion_régulation_ballon », la fiche « C_STO_Ballon_de_stockage » et éventuellement la fiche « C_STO_échangeur_ballon».

La quantité d'énergie à fournir $Q_{req,CH}(h)$, la température d'eau entrante (retour distribution $\theta_{retour,aval,CH}$) ainsi que la température départ à assurer sont des données d'entrée du modèle. On fixe :

$$\theta_{entrant,CH}(h) = \theta_{retour,aval,CH}(h) \quad (2009)$$

La quantité d'énergie à fournir par le ballon est notée $Q_{w\_sto\_unit}(h)$. Lors de cette deuxième étape, elle est calculée comme suit :

$$Q_{w-sto-unit}(h) = \frac{Q_{req,CH}(h)}{Nb_{assemblage}} \quad (2010)$$

Le principe de la boucle itérative est le suivant : à chaque itération, le volume puisé calculé est envoyé aux algorithmes des ballons de stockage. Le volume puisé ne peut pas excéder le volume minimal de zone, $V_{z,min}$.

A chaque itération, les températures des ballons sont actualisées sans tenir compte ni des apports d'énergie ni des pertes de stockage.

Le nombre d'itération de la boucle ne peut pas excéder $Nb\_{iter,vp}$.

A l'issue de la boucle itérative, si l'intégralité de la quantité d'énergie $Q_{req,CH}(h)$ n'a pas pu être fournie, il subsiste une quantité d'énergie restant à couvrir, notée $Q_{restCH}(h)$:

$$Q_{restCH}(h) = Q_{w-sto-unit-report}(i-1) \quad (2011)$$

Où « i-1 » représente ici la dernière itération de la boucle.

Par ailleurs, on introduit la quantité d'énergie fournie par l'assemblage en chauffage :

$$Q_{fouCH}(h) = Q_{reqCH}(h) - Q_{restCH}(h) \quad (2012)$$

A la fin de la boucle itérative, le champ de température du ballon après le puisage a été modifié, ce qui permet de quantifier l'énergie à fournir au ballon pour que ses températures atteignent la température de consigne.

3. Troisième étape : quantité d'énergie fournie par le générateur de base

Au cours de cette troisième étape, on commence par appeler la gestion-régulation pour déterminer sir le générateur de base est en fonctionnant, et la valeur de la quantité d'énergie qu'il doit fournir pour maintenir le ballon à sa température de consigne, $Q_{req,base}(h)$.

Si le générateur de base est autorisé à fonctionner, il est appelé pour déterminer la quantité d'énergie réellement fournie au ballon, dans la zone z_{base}.

La température aval en entrée du composant générateur est celle de la zone z_{base} du ballon, majorée d'un correctif pour prendre en compte le transfert de chaleur au travers d'un échangeur de chaleur.

Après injection de l'énergie du générateur d'appoint dans le ballon, le champ de températures du ballon est recalculé.

4. Quatrième étape : quantité d'énergie fournie par le générateur d'appoint

Ce paragraphe n'est appelé que dans le cas où un appoint est présent dans l'assemblage (type d'assemblage égal à *1 : Base et appoint intégré* ou *2 : Base et appoint dans un second ballon séparé*).

A la suite du calcul de la quantité d'énergie fournie par la base, on fait de même pour le générateur d'appoint. Par hypothèse, celui-ci n'intervient que si le générateur de base n'a pas pu réchauffer le volume d'eau couvert par l'appoint (fraction f_{aux} du ballon), plus particulièrement la zone du ballon dans laquelle se situe la sonde de température de régulation de l'appoint ($z\_{reg,app}$).

Le générateur d'appoint est appelé pour déterminer la quantité d'énergie réellement fournie au ballon, à partir de l'énergie requise $Q_{req\_sto\_ap}$, de la température moyenne du ballon vue par l'échangeur et des caractéristiques de ce dernier.

Après injection de l'énergie du générateur d'appoint dans le ballon, le champ de températures du ballon est recalculé.

9.14.3.2.3 Cas particulier d'un assemblage « Base et appoint dans un second ballon séparé » (Type_prod_stockage = 2)

Dans ce cas de figure, l'assemblage est constitué d'un ballon principal, contenant l'échangeur avec le générateur de base et d'un ballon d'appoint (secondaire) contenant l'échangeur avec le générateur d'appoint.

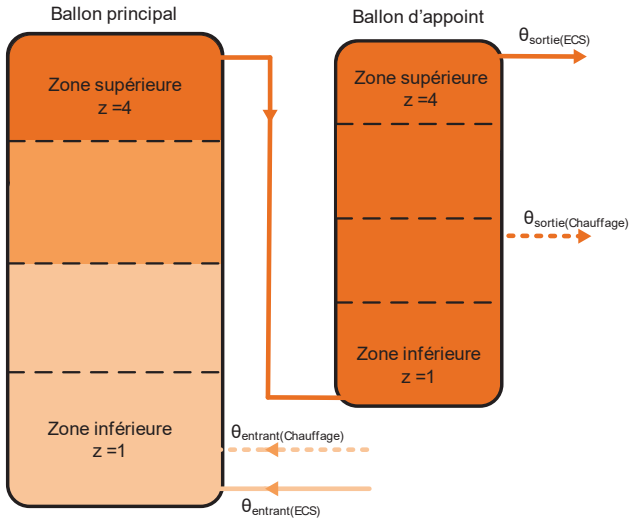


Figure 199 : Représentation d'une association d'un ballon principal et d'un second ballon séparé

Le déroulement des calculs est identique à celui décrit au paragraphe §9.14.3.2.2, à ceci près que les conventions suivantes sont appliquées :

- Pour la production ECS, le prélèvement d'eau chaude se fait dans la zone supérieure du ballon d'appoint et l'injection d'eau froide (ou de retour de boucle) se fait dans la zone

basse du ballon principal. L'indice $z_{p,ECS}^{principal}$ est fixé conventionnellement à 4 et l'indice $z_{inj,ECS}^{appoint}$ est fixé conventionnellement à 1.

- Pour le chauffage, le prélèvement d'eau chaude se fait dans la zone d'indice $z_{p,ch}^{appoint}$ du ballon d'appoint, et l'injection d'eau au retour de la distribution de chauffage se fait dans la zone d'indice $z_{inj,ch}^{principal}$ du ballon principal. L'indice $z_{p,ch}^{principal}$ est fixé conventionnellement à 4 et l'indice $z_{inj,ch}^{appoint}$ est fixé conventionnellement à 1.

- Dans les deux cas, la zone supérieure du ballon principal est connectée à la zone basse du ballon d'appoint. Le volume puisé est répercuté dans les deux ballons pour tenir compte de l'effet piston. Le ballon d'appoint recevant dans sa zone inférieure l'équivalent du volume puisé à la température de la zone supérieure du ballon principal calculée à l'itération précédente; le ballon principal quant à lui reçoit ce même volume à la température d'eau entrante $\theta_{entrant}(h)$

- A chaque itération et tant que toute l'énergie disponible dans les ballons n'a pas été utilisée, les températures des deux ballons (sans tenir compte ni des apports d'énergie ni des pertes de stockage) sont actualisées. On commence par calculer les températures du ballon principal, puis celles du ballon d'appoint.

9.14.3.2.4 Message d'erreur en cas de disponibilité d'eau chaude insuffisante

Un message d'erreur est mis en place pour s'assurer que les paramètres définis pour le ballon et ses générateurs ont bien été définis de manière cohérente avec le projet simulé (pas de sous-dimensionnement aberrant).

Ce message d'erreur est utilisé pour tous les types d'assemblage, à l'exception de l'assemblage 3 : Base et appoint séparé instantané. Pour ce dernier, la vérification de la cohérence est réalisée uniquement au niveau de la gestion-régulation de la génération, en prenant en compte la puissance thermique du générateur d'appoint séparé.

Pour cela, le critère choisi est le suivant : si le ballon n'atteint pas au moins une fois la température de consigne du dernier générateur à fonctionner (base dans le cas base seule, appoint sinon) sur 168h consécutives, le moteur lance le message d'erreur suivant : « *Sur les 168 dernières heures, le ballon n'a jamais atteint sa température de consigne* ».

Cette vérification se base sur l'algorithme suivant :

Initialisation : $nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}(h) = 0$

Si $\theta_{b4}(h) < \theta_c$

$$nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}(h) = nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}(h-1) + 1 \quad (2013)$$

Sinon

$$nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}(h) = 0$$

Où θ_c est prise égale à θ_{c_base} en assemblage base seule, et à θ_{c_ap} sinon.

Si $nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}(h) > 168$, le moteur lance le message d'erreur

9.14.3.2.5 Calcul des consommations

Dans le cas de l'assemblage « ballon base échangeur appoint intégré », la consommation en énergie finale de l'assemblage (pour le poste chauffage et/ou ECS) est égale aux consommations

des générateurs de base et d'appoint réparties sur les postes chauffage et ECS au prorata des besoins. Les résultats sont présentés sous forme de matrice :

$$\left\{Q_{cef(po;Idengen)}^{assemblage}(h)\right\} = nb_{assembl} \times \begin{cases} Q_{cons}^{gnr\_base}(h) \times \dfrac{Q_{req\_ch}(h)\cdot\left\{E_{(1;Idengen)}\right\} + Q_{req\_ecs}(h)\cdot\left\{E_{(3;Idengen)}\right\}}{Q_{req\_ecs}(h) + Q_{req\_ch}(h)} \\ +Q_{cons}^{gnr\_ap}(h) \times \dfrac{Q_{req\_ch}(h)\cdot\left\{E_{(1;Idengen)}\right\} + Q_{req\_ecs}(h)\cdot\left\{E_{(3;Idengen)}\right\}}{Q_{req\_ecs}(h) + Q_{req\_ch}(h)} \\ +\left(W_{aux\_pro}^{gnr\_base}(h) + W_{aux\_pro}^{gnr\_ap}(h)\right) \times \dfrac{Q_{req\_ch}(h)\cdot\left\{E_{(1;50)}\right\} + Q_{req\_ecs}(h)\cdot\left\{E_{(3;50)}\right\}}{Q_{req\_ecs}(h) + Q_{req\_ch}(h)} \end{cases} \quad (2014)$$

Note : l'équation ci-dessus remplace la matrice de sortie du contrat générateur.
Note 2 : Par hypothèse, si les deux $Q_{req}(h)$ sont nuls, les consommations sont reportées sur le chauffage si Id_{fousto}=1 ou sur l'ECS si Id_{fousto} =3.

9.14.3.2.6 Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de stockage, récupérables par l'ambiance si les éléments de stockage sont en volume chauffé, s'écrivent :

$$\Phi_{vc}^{sto}(h) = nb_{assembl}.Id_{pos\_gen}.\left(\Phi_{pertes}^{ballon\_principal}(h) + \phi_{pertes}^{ballon\_secondaire}(h)\right) \quad (2015)$$

A ces pertes de stockage s'ajoutent les éventuelles pertes en volume chauffé des générateurs de base et d'appoint, notées respectivement $\Phi_{vc}^{gnr\_base}(h)$ et $\Phi_{vc}^{gnr\_ap}(h)$, issues des algorithmes des « Assemblages générateur pour ballon»,

$$\Phi_{vc}^{gnr}(h) \leftarrow \left(nb_{assembl} \times \Phi_{vc}^{gnr\_base}(h)\right) + \left(nb_{assembl} \times \Phi_{vc}^{gnr\_ap}(h)\right) \quad (2016)$$

9.15 C_GEN_Boucle solaire

9.15.1 INTRODUCTION

L'élément primordial des systèmes solaires thermiques est la boucle solaire qui transfère l'énergie solaire au ballon de stockage.

Le modèle ci-dessous inclus les capteurs, la boucle de distribution du fluide avec ses pompes de distribution et l'échangeur solaire dans le ballon. Ce modèle horaire détermine l'énergie transférée au ballon par l'échangeur solaire, la consommation des pompes et les éventuelles pertes thermiques vers un volume chauffé.

Le modèle de la boucle solaire est assimilé à celui d'un générateur.

9.15.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 293 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de boucle solaire.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
*Isr**	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m²
$\theta_{b\_moy\_ech}(h)$	Température moyenne du ballon vue par l'échangeur d'un générateur (base ou appoint)	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
A	Superficie de capteurs solaires (superficie d'entrée)	m²	0	+ ∞	-
η_0	Rendement optique d'un capteur solaire	-	0	1	
a_1	Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire	W/(m².K)	0	+ ∞	
a_2	Coefficient de pertes du deuxième ordre d'un capteur solaire	W/(m².K²)	0	+ ∞	
$(UA)_{te}$	Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle solaire vers l'extérieur	W/K	0	+ ∞	
$(UA)_{ti}$	Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle solaire vers l'intérieur du bâtiment	W/K	0	+ ∞	
$(UA)_{hx}$	Coefficient de transfert de l'échangeur	W/K	0	+ ∞	100A
K_θ	Facteur d'angle d'incidence	-	0	1	
P_{np}	Puissance nominale de la pompe	W	0	+ ∞	
α_p	Part de la puissance de la pompe transférée au fluide sous forme de chaleur	-	0	1	0,5
Isr_{min}	Valeur seuil de l'ensoleillement dans le cas d'une régulation sur ce dernier	W/m²	0	1500	200

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Type_{regul\_BS}$	Type de régulation de la boucle solaire (sur la température extérieure =0 / sur l'irradiance=1)	-	0	1	-
α	Orientation du capteur solaire, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord).	°	0	360	-
β	Inclinaison du capteur solaire (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale)	°	0	90	-
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage: *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent	1	5	-
Usage_Zone	Usage de la zone	Enum	1	38	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Q_{sol}	Chaleur transférée à l'échangeur	Wh
P_p	Puissance consommée par la pompe	W
$\Phi_{vc}^{BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
$\{Q^{BS}_{cef\{po;idengen\}}(h)\}$	Matrice de consommation horaire en énergie finale du générateur boucle solaire	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
θ_m	Température moyenne de la boucle solaire	°C
Q_{sol}^{int}	Valeur intermédiaire de Q_{sol}	Wh
U_c	Coefficient de pertes vers l'extérieur de la boucle de captage (capteur et tuyauterie)	W/(m².K)
$\Delta\theta_{ce}$	Ecart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur du ballon (ou la partie inférieure du ballon s'il n'y a pas d'échangeur)	°C
θ_{comp}	Température intermédiaire pour la prise en compte des déperditions de la boucle solaire	°C
$E(i,j)$	Matrice de la base canonique (tous les coefficients sont nuls sauf le coefficient (i,j) qui vaut 1	-

Constantes

Nom	Description	Unité			Conv.
$\{Coef_{ep(énergie)}\}$	Vecteur des coefficients d'énergie primaire associés aux différents types d'énergie.	Réel			-
$\Delta\theta_{reg}$	Valeur de réglage de la régulation	K	0	$+\infty$	1 ou 3K
$\dot{m}C_p$	Débit calorifique de la boucle	W/K	0	$+\infty$	$58*A$

Tableau 293 : Nomenclature des différentes variables du modèle de boucle solaire

9.15.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

On admet que la température moyenne dans le capteur est égale à la température moyenne dans l'échangeur. Cette hypothèse suppose que la boucle est bien isolée et exclut les faibles débits.

Ce modèle de boucle solaire détermine l'énergie solaire injectée dans le ballon sur une heure.

Le rayonnement solaire incident sur les capteurs *Isr** tient compte d'éventuels masques.

9.15.3.1 *Calcul de l'énergie solaire si la boucle est en fonctionnement* Q_{sol}^{Int}

Il existe deux types de système de transfert d'énergie de la boucle vers le ballon : avec ou sans échangeur. Dans un premier temps, on calcule la valeur de Q_{sol} pour chacun des deux systèmes si la pompe est en marche. On appelle cette énergie intermédiaire Q_{sol}^{Int}. La régulation de la boucle s'effectuera dans un deuxième temps.

Pour les capteurs solaires la méthode de calcul offre deux alternatives dans la définition des caractéristiques que sont la superficie, le rendement optique et les coefficients de pertes :

- La saisie directe des valeurs certifiées par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes harmonisées NF EN 12975-1 et NF 12975-2,

- Par défaut, les valeurs indiquées dans le Tableau 294 sont retenues.

	Capteur non vitré	Capteur vitré	Capteur tubulaire
Rendement optique	0,6	0,6	0,6
Coefficient de pertes du premier ordre	20	6	3
Coefficient des pertes du second ordre	0	0	0

Tableau 294 : Valeurs par défaut pour les capteurs solaires

9.15.3.1.1 Calcul de $\boldsymbol{Q_{sol}^{Int}}$ avec échangeur

Il nous faut résoudre les 3 équations suivantes :

$$U_C = a_1 + a_2(\theta_m - \theta_e(h)) + \frac{UA_{te}}{A} \quad (2017)$$

où la température moyenne de la boucle θ_m se déduit de l'équation de l'équilibre de la boucle

$$\eta_0.A.Isr*.K_\theta - A.U_C(\theta_m - \theta_e(h)) - UA_{ti}(\theta_m - \theta_{amb}(h)) + \alpha_P P_{nP} = Q_{sol}^{Int} \quad (2018)$$

et Q_{sol}^{Int} est relié à θ_m par

$$Q_{sol}^{Int} = UA_{hx}(\theta_m - \theta_{b\_moy\_ech}) \quad (2019)$$

Ces trois équations sont combinées en une seule équation du second degré en θ_m :

$$\begin{aligned} &a_2{\theta_m}^2 + \left[a_1 + \frac{UA_{te}+UA_{ti}+UA_{hx}}{A} - 2a_2\theta_e\right]\theta_m \\ &+a_2{\theta_e}^2 - a_1\theta_e - \eta_0 Isr*.K_\theta - \frac{\alpha_P P_{nP} + \left(UA_{te}\theta_e + UA_{ti}\theta_{amb} + UA_{hx}\theta_{b\_moy\_ech}\right)}{A} = 0 \end{aligned} \quad (2020)$$

Une fois θ_m calculé par cette équation, on déduit Q_{sol}^{Int} par l'équation (2019).

9.15.3.1.2 Calcul de $\boldsymbol{Q_{sol}^{Int}}$ sans échangeur

On remplace $\theta_m$par $\theta_{b\_moy\_ech}$ et l'énergie solaire si la boucle fonctionne est

$$\begin{aligned} &\eta_0.A.Isr*.K_\theta - A\left[a_1 + a_2(\theta_{b\_moy\_ech} - \theta_e)\right].(\theta_{b\_moy\_ech} - \theta_e) \\ &-UA_{te}(\theta_{b\_moy\_ech} - \theta_e) - UA_{ti}(\theta_{b\_moy\_ech} - \theta_{amb}) + \alpha_P P_{nP} = Q_{sol}^{Int} \end{aligned} \quad (2021)$$

9.15.3.2 *Régulation de la boucle solaire*

Deux types de régulations sont possibles, l'un basé sur la température, l'autre sur l'irradiance.

9.15.3.2.1 Régulateur basé sur la température (type_régul_BS=0)

9.15.3.2.1.1 Calcul de la valeur de régulation

L'écart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur du ballon (ou la partie inférieure du ballon s'il n'y a pas d'échangeur) est comparée à la valeur de *Δθreg*. Si *Δθreg* est faible, la boucle solaire fonctionnera plus souvent mais les consommations de la pompe seront plus importantes. *Δθreg* correspond donc à un optimum entre apport d'énergie renouvelable et consommation d'électricité.

Par convention, dans Th-BCE, la valeur de *Δθreg* est prise égale à 1K pour les installations des maisons individuelles et des logements collectifs. Dans les autres cas, sa valeur est de 3K.

Si l'objet « boucle_solaire » n'alimente que des zones telles que *Usage_Zone*=1 ou *Usage_zone*=2,

$$\Delta\theta_{reg} = 1 \quad (2022)$$

Si l'objet « boucle_solaire » alimente des zones telles que *Usage_Zone*≠{1,2},

$$\Delta\theta_{reg} = 3$$

9.15.3.2.1.2 Calcul du fonctionnement de la boucle solaire

On calcule l'écart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur du ballon (ou la partie inférieure du ballon s'il n'y a pas d'échangeur) :

$$\Delta\theta_{ce} = \frac{2Q_{sol}^{Int} + UA_{te}(\theta_{comp} - \theta_e) + UA_{ti}(\theta_{comp} - \theta_{amb}) - \alpha_P P_{nP}}{2\dot{m}C_P} \quad (2023)$$

où $\theta_{comp} = \theta_m$ s'il y a un échangeur, $\theta_{comp} = \theta_{b\_moy\_ech}$ sinon. Si

$$\Delta\theta_{ce} < \Delta\theta_{reg}, \quad (2024)$$

$Q_{sol} = 0$, la pompe est arrêtée et sa consommation P_p est nulle, sinon $P_p = P_{np}$ et $Q_{sol} = Q_{sol}^{Int}$.

9.15.3.2.2 Régulateur basé sur l'irradiance (type_régul_BS=1)

Une autre possibilité pour la régulation est de mettre en route la pompe à partir d'un certain seuil d'ensoleillement. La condition (2026) remplace alors la condition (2025):

$$Isr * < Isr_{min} \quad (2025)$$

Ce mode de régulation sera employé notamment en cas de stockage décentralisé (CESCI) où on ne peut pas mesurer l'écart de températures $\Delta\theta_{ce}$.

9.15.3.3 *Données de sorties de la boucle solaire*

Au niveau de la génération, les consommations en énergie finale, les pertes vers l'ambiance ainsi que la chaleur fournie au ballon sont présentées de la manière suivante.

9.15.3.3.1 Calcul des consommations

On génère les résultats sous une forme matricielle directement utilisable pour les calculs concaténés de C selon le type d'usage (postes) et le type d'énergie.

Les lignes représentent les différentes postes de consommations associés au composant générateur. Les colonnes correspondent aux différents types d'énergie.

Le remplissage de la matrice de la boucle solaire a lieu comme suit :

Dans le cas d'une production ECS seule (id_{fousto}=3),

$$\{Q^{BS}_{cef(3;Idengen)}(h)\} = P_p(h) * \{E_{(3;50)}\} \quad (2026)$$

Dans le cas d'une production mixte (ECS et chauffage, c'est-à-dire id_{fousto}=4), la consommation de la pompe solaire est répartie sur les consommations de chauffage et d'ECS au prorata des besoins (voir fiches d'assemblage).

9.15.3.3.2 Calcul des pertes vers l'ambiance

En plus de la matrice de sortie permettant de réaliser les sommations aux niveaux des composants groupes, le composant générateur renvoie une valeur de flux d'énergie transmis à l'ambiance. Dans le cas de la boucle solaire, les pertes vers l'ambiance s'expriment de la façon suivante :

$$\Phi^{BS}_{vc}(h) = max\left(UA_{ti} \cdot \left(\theta_{comp} - \theta_{amb}(h)\right), 0\right) \quad (2027)$$

Ces pertes, au même titre que celles de tous les autres générateurs d'une génération, seront sommées au niveau de la gestion-régulation de la génération.

9.16 S1_GEN_CESCI

9.16.1 INTRODUCTION

Des modèles de boucle solaire, ballon d'eau chaude, régulation des générateurs de base et d'appoint ont été décrits dans des « fiches algorithmes ». Ces différents modèles élémentaires sont ici assemblés en un modèle de chauffe-eau solaire collectif avec appoint stockage individualisé (CESCI).

Plusieurs configurations de CESCI sont modélisables dans Th-BCE. Elles sont détaillées ci-dessous.

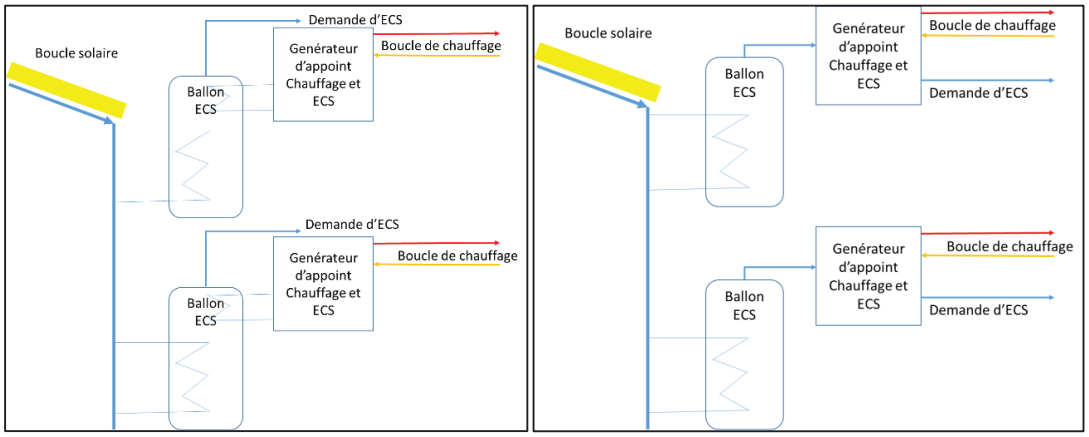


Figure 200 : A gauche, le générateur d'appoint réchauffe les zones supérieures du ballon ECS via un échangeur. C'est la configuration monovalente. A droite le générateur d'appoint, double service est séparé instantané, c'est la configuration bivalente.

Les générateurs d'appoint sont appelés si nécessaire pour au choix

- réchauffer le ballon d'ECS (pour les appoints intégrés),
- assurer l'appoint instantané d'ECS (pour les appoints séparés instantanés),

et peuvent également être utilisés pour le chauffage instantané.

Note : se comporte comme une génération. A ce titre, des éléments sont similaires avec la fiche algo C_GEN_Calculs génération.

9.16.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 295 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de CESCI.

Entrées du système

	Nom	Description	Unité
Distr. second.	*Isr**	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m²
	$\theta_e(h)$	Température extérieure	°C
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
	$A^{gr,em-e}$	Surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	m²
	$Q_{w\_2nd-e}(h)$	Besoins d'ECS majorés des pertes de distributions du groupe	Wh
	$Q_{sys\_ch}^{ds}(h)$	Energie requise par le réseau du groupe *ds* en chauffage.	Wh
	$\theta_{dep}^{ds}(h)$	Température du départ du réseau du groupe *ds*, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$\theta_{ret}^{ds}(h)$	Température du départ du réseau du groupe *ds*, pour le chauffage ou le refroidissement.	°C
	$Rat_{eff\_ch}^{gr,em}$	Part de l'énergie effective assurée par l'émetteur *em* en chauffage, pour le groupe *gr* desservi par la distribution intergroupes.	Ent
ET	$b_{therm}(h)$	Facteur de réduction des déperditions thermiques induit par l'espace tampon	-
	h_{leg}	Heure légale	-

Paramètres du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Type_PCAD	Type de production centralisée à appoints décentralisés : 0- CESCI (Chauffe-Eau Solaire Collectif Individualisé – avec appoint intégré au ballon) 1- CESCAI (Chauffe-Eau Solaire Collectif à Appoint Individuel) 2- CESCI-AS (Chauffe-Eau Solaire Collectif Individualisé – avec appoint séparé instantané)	-	0	1	0
nb_{ens}	Nombre d'ensemble de ballons décentralisés strictement identiques	-	0	+∞	-
nb_{sto}^{B}	Nombre de ballons de stockage décentralisés de l'ensemble {B} strictement identiques	-	0	+∞	-
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent.	1	5	-
id_{fougen}^{gnr}	Fonction du générateur *gnr* compris dans la génération : *1 : Chauffage* *2 : Refroidissement* *3 : ECS* *4 : Chauffage et ECS*	Ent	1	5	-

		5 : Chauffage et refroidissement				
	$id_{priorite\_ch}^{gnr}$	Indice de priorité en chauffage.	Ent.	1	+∞	-
	$id_{type\_priorite}$	Priorité de fonctionnement des générateurs pour la génération : *1 : Sans priorité,* *2 : Générateurs en cascade,* *3 : Générateurs alternés.*	Ent	1	3	-
	$id_{raccord\_gnr}$	Type de raccordement des générateurs entre eux, pour un mode de gestion avec priorité : *0 : Permanent,* *1 : Avec isolement*	Ent	0	1	1
	pos_{gen}	Position de l'assemblage CESCI : *0 : Hors volume chauffé,* *1 : En volume chauffé.*	Ent	0	1	-
GR réseau du groupe	Agr	Surface du groupe	m²	0	+∞	
	$\theta_{dep\_dim\_ch}^{ds}$	Température de départ de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
	$\theta_{ret\_dim\_ch}^{ds}$	Température de retour de dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
	$\Delta\theta_{em\_dim\_ch}^{ds}$	Différence nominale de température dans le réseau de distribution du groupe entre départ et retour, liée au dimensionnement.	°C	-∞	+∞	
Fonctionnement en chauffage	$id_{gestion\_ch}$	Type de gestion de la température de génération en chauffage. *1 : fonctionnement à température moyenne constante,* *2 : fonctionnement à la température moyenne des réseaux de distribution.*	Ent	1	2	-
	θ_{wm_ch}	Température de fonctionnement de la génération pour un fonctionnement à température constante. *(voir paramètres des fiches de l'assemblage et les paramètres de la GR de la génération)*	°C	0	100	-
	θ_{wm_ECS}	Température de fonctionnement de la génération en ECS (pour les appoints séparés instantanés)				

Sorties

	Nom	Description	Unité
Pertes des stockages décentralisés en énergie auxiliaire	$\Phi_{déc\_vc}^{sto}(h)$	Pertes vers des espaces chauffés des systèmes des ballons décentralisés de l'ECS.	Wh
	$\Phi_{déc\_vc}^{gnr}(h)$	Pertes des auxiliaires des générateurs décentralisés transmises au volume chauffé.	Wh
	$\Phi_{tot\_vc}^{gen}(h)$	Pertes des auxiliaires du CESCI (càd de la génération) transmises au volume chauffé.	Wh
	$\Phi_{tot\_vc}^{gen,gr}(h)$	Pertes des consommations des auxiliaires du CESCI, par groupe, transmises au volume chauffé.	Wh
	$Rat_{surf}^{gen,gr} = Rat_{surf}^{CESCI,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour le poste ECS	-
	$Rat_{surf\_ch}^{CESCI,gr} = Rat_{surf\_dess\_ch}^{C}{}_{ESCI,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour le poste chauffage	-
	$E_{sol\_tot}^{BS}$	Energie totale annuelle cumulée transmise à l'échangeur.	Wh/an

$E_{ef\_aux\_tot}^{BS}$	Energie totale annuel cumulée consommée par la pompe de la boucle solaire.	Wh/an
$\{Q_{cef(poste;énergie)}^{CESCI}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie.	Wh
$\{Q_{cef(poste;énergie)}^{CESCI,gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie, répartie au niveau du groupe	Wh
$C_{ef\_ecs\_m}^{CESCI}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par CESCI	Wh
$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCI}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCI	Wh
$C_{ef\_ecs}^{CESCI}$	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par CESCI	Wh
$C_{ep\_ecs}^{CESCI}$	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCI	Wh
$C_{ef\_ecs\_m}^{CESCI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ef\_ecs}^{CESCI,gr}$	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ep\_ecs}^{CESCI,gr}$	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ef\_ch\_m}^{CESCI}$	Consommation mensuelle en énergie finale de chauffage, par CESCI	Wh
$C_{ep\_ch\_m}^{CESCI}$	Consommation mensuelle en énergie primaire de chauffage, par CESCI	Wh
$C_{ef\_ch}^{CESCI}$	Consommation annuelle en énergie finale de chauffage, par CESCI	Wh
$C_{ep\_ch}^{CESCI}$	Consommation annuelle en énergie primaire de chauffage, par CESCI	Wh
$C_{ef\_ch\_m}^{CESCI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie finale de chauffage, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ep\_ch\_m}^{CESCI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire de chauffage, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ef\_ch}^{CESCI,gr}$	Consommation annuelle en énergie finale de chauffage, par CESCI et par groupe	Wh
$C_{ep\_ch}^{CESCI,gr}$	Consommation annuelle en énergie primaire de chauffage, par CESCI et par groupe	Wh
$\{C_{ef\_gaz}^{CESCI}, C_{ef\_fod}^{CESCI}, C_{ef\_cha}^{CESCI}, C_{ef\_boi}^{CESCI}, C_{ef\_ele}^{CESCI}, C_{ef\_rdc}^{CESCI}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale par CESCI	Wh
$\{C_{ep\_gaz}^{CESCI}, C_{ep\_fod}^{CESCI}, C_{ep\_cha}^{CESCI}, C_{ep\_boi}^{CESCI}, C_{ep\_ele}^{CESCI}, C_{ep\_rdc}^{CESCI}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire par CESCI	Wh
$\{C_{ef\_gaz}^{CESCI,gr}, C_{ef\_fod}^{CESCI,gr}, C_{ef\_cha}^{CESCI,gr}, C_{ef\_boi}^{CESCI,gr}, C_{ef\_ele}^{CESCI,gr}, C_{ef\_rdc}^{CESCI,gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale par CESCI et par groupe	Wh
$\{C_{ep\_gaz}^{CESCI,gr},$	Matrice des consommations annuelles	Wh

$C_{ep\_fod}^{CESCI,gr}$, $C_{ep\_cha}^{CESCI,gr}$, $C_{ep\_boi}^{CESCI,gr}$, $C_{ep\_ele}^{CESCI,gr}$, $C_{ep\_rdc}^{CESCI,gr}$}	d'énergie par CESCI et par groupe	

Variables internes

	Nom	Description	Unité
	Pe_z	Pertes thermiques des zones du ballon	W
	Q_{sol}	Energie transférée aux échangeurs solaires des ballons de l'assemblage	W
	Q_{sol_unit}	Energie transférée à l'échangeur solaire d'un ballon	W
	V_p	Volume horaire puisé (= volume d'eau froide entrant dans le ballon)	L/h
	$Q_{fou\_sto\_ap}$	Energie fournie par l'élément chauffant d'appoint	W
	$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance d'un générateur d'appoint	Wh
	$Q_{req\_tot\_sr\_ch}(h)$	Demande d'énergie en chauffage au niveau d'un générateur d'appoint du CESCI	Wh
	$Rat_{besoins\_sec\_e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau de distributions du groupe relié au CESCI sur la somme de tous les besoins d'ECS du CESCI	-
	$Rat_{bes\_ch}^{CESCI,gr}(h)$	Ratio des besoins de chauffage d'un réseau de distributions du groupe relié au CESCI sur la somme de tous les besoins de chauffage du CESCI	-
	$\Phi_{vc}^{BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
	$Id_{fonction}(h)$	Indicateur de fonction accompagnant le $Q_{req}(h)$ (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*)	Ent
	$id_{relance}(h)$	Indicateurs de période de relance en chauffage	Bool
	$\theta_{ecs\_max}^{gen}$	Température maximale « des réseaux de distribution intergroupes d'ECS connectés à la génération *gen*. »	°C
	$\theta_{ch\_max}^{gen}$	Température maximale « des réseaux de distribution intergroupes de chauffage connectés à la génération *gen*. »	°C
	$Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)$	Besoins de chauffage majorés des pertes de distributions du groupe	Wh
Températures foinctionnement	$\theta_{aval\_ch}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage.	°C
	$\theta_{aval\_ch}(h\text{-}1)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage, au pas de temps précédent.	°C
Sour. amonts	$\theta_{amont}^{SA}(h)$	Température amont calculée au niveau d'une source amont SA donnée.	°C
	$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont du générateur *gnr*, dans le cas des générateurs thermodynamiques (sans objet sinon).	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg .K)	1,163
$\{Coef_{ep(énergie)}\}$	Vecteur des coefficients d'énergie primaire associés aux différents types d'énergie.	Réel	-

Tableau 295 : Nomenclature des différentes variables du modèle de CESCI

9.16.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Une installation solaire collective individualisée (ou CESCI) comporte un champ de capteurs solaires, plusieurs ballons de stockage ECS (à priori autant que de logements), des conduites (boucle solaire) reliant le champ de capteurs solaires aux échangeurs internes de chaque ballon de stockage, une pompe pour la mise en circulation du fluide caloporteur, un dispositif de régulation automatique avec action sur la pompe, une source énergétique d'appoint dans chaque ballon individuel.

L'assemblage CESCI assure les besoins d'ECS et éventuellement les besoins de chauffage via les générateurs d'appoint. Il a exactement le même rôle qu'un objet « génération ». A la différence près que les distributions du groupe d'ECS et/ou de chauffage, et non les distributions intergroupes, sont reliées à l'objet CESCI.

Les calculs d'une d'installation centralisée à appoints décentralisés, comme le CESCI, ne se font pas tous à la même échelle : pour répartir l'énergie fournie en sortie de la boucle solaire, qui est centralisée, nous utiliserons un échelon intermédiaire appelé ensemble (ou collection) de ballons individuels. Tous les ballons de stockage d'un ensemble possèdent exactement les mêmes caractéristiques (volume, mode de gestion, générateur d'appoint,…).

9.16.3.1 ***Prétraitement des données***

Ce paragraphe a pour objectif de préparer, à partir des demandes d'énergie d'ECS et de chauffage et des températures des réseaux de distributions, le jeu de données d'entrées nécessaire au modèle du CESCI.

Les données d'entrée sont :

3. Les informations issues de la (ou des) distribution(s) interne(s) au groupe ;
4. Les aspects d'irradiance de la boucle solaire décrits par *Isr** et K_θ *;*
5. Des températures externes à l'assemblage qui influent sur l'assemblage.

L'évaluation des paramètres d'intégration (propres à l'assemblage) et le calcul des données d'entrée des fiches constituant l'assemblage est détaillé ci-dessous.

9.16.3.1.1 Type d'assemblage

Les algorithmes ci-dessous décrivent l'assemblage CESCI.

$$Type_{PCAD} = 0 \; ou \; 2 \qquad (2028)$$

9.16.3.1.2 Fonction de l'assemblage

Dans l'assemblage CESCI, les ballons ne fonctionnent qu'en mode ECS seule. Les générateurs d'appoint des ballons peuvent être mixtes (chauffage+ECS) mais ne peuvent assurer le refroidissement.

$$\begin{matrix} Id_{fousto} = 3 \\ Id_{fougen} = 3 \; ou \; 4 \end{matrix} \qquad (2029)$$

9.16.3.1.3 Température au niveau de la génération

Pour chaque ensemble de ballon, la température à atteindre au niveau de l'assemblage est celle du réseau de distribution du groupe connecté au ballon.

$$\theta_{ecs\_max}^{gen} = \theta_{2nd-e}^{ds-e} \quad (2030)$$

Pour chaque générateur faisant du chauffage, la température de fonctionnement est déterminée de la manière suivante. Dans le cas où le réseau est à température de départ constante ou à régulation sur la température extérieure, la référence est la température de départ. Dans le cas d'une température de retour constante, on calcule l'extrême de la température de départ dans les conditions nominales.

$$\theta_{max\_ch}^{gen} = \underset{ds \in CESCI}{MAX}\left(\theta_{dep\_dim\_ch}^{ds} - \frac{\Delta\theta_{em\_dim\_ch}^{ds}}{2}; \theta_{ret\_dim\_ch}^{ds} + \frac{\Delta\theta_{em\_dim\_ch}^{ds}}{2}\right) \quad (2031)$$

9.16.3.1.4 Emplacement des ballons et des générateurs (en volume chauffé ou hors volume chauffé)

Les positions des ballons individuels du CESCI ainsi que de leur générateur d'appoint dépendent de celle de l'assemblage.

9.16.3.1.5 Température ambiante au niveau de l'assemblage

La température ambiante sera utilisée pour le calcul des pertes thermiques de la boucle solaire, des ballons individuels et des générateurs d'appoint. En volume chauffé, elle est supposée constante.

Si Pos_{gen}=0 (hors volume chauffé)

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{ext}(h) \quad (2032)$$

Si Pos_{gen}=1 (en volume chauffé)

$$\theta_{amb}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_{amb\_ch}$$

9.16.3.1.6 Fonctionnement des ballons d'ECS

9.16.3.1.6.1 Ballons individuels

Les ballons décentralisés se comportent comme des « ballons base + appoint » (avec deux échangeurs) ou ballons « base+appoint séparé instantané »

$Si\ Type_{PCAD} = 0,$

$$Type_{prod\_stockage} = 1 \quad (2033)$$

$Si\ Type_{PCAD} = 2$

$$Type_{prod\_stockage} = 3$$

9.16.3.1.6.2 Position de l'échangeur de la boucle solaire dans les ballons

Les échangeurs de la boucle solaire et les sondes de température se situent dans les zones inférieures des ballons.

Pour tous les ensembles {B}

$$z_{base} = z_{reg\_base} = 1 \quad (2034)$$

9.16.3.1.6.3 Régulation de la boucle solaire

La régulation de la boucle solaire est pilotée par l'irradiance

$$Type_{regul\_BS}=1 \quad (2035)$$

9.16.3.1.6.4 Température de consigne des ballons avec appoint intégré

Les températures de consigne des ballons avec appoint intégré sont conventionnellement figées à 55°C.

$$\theta_{c\_base}^{déc} = \theta_{c\_appoint}^{déc} = 55°C \quad (2036)$$

9.16.3.1.6.5 Ratio des surfaces et des besoins de chaque groupe desservi en ECS

Le calcul suivant permettra de répartir les pertes thermiques des composants centralisés du CESCI (c'est-à-dire la boucle solaire) dans chacun des groupes, au prorata de leurs surfaces.

$$Rat_{surf}^{gen,gr} = Rat_{surf}^{CESCI,gr} = \frac{\sum_{\text{em-e}\in\text{gr}\ \text{em-e}\in\text{CESCI}} A^{\text{gr,em-e}}}{\sum_{em-e\in CESCI} A^{gr,em-e}} \quad (2037)$$

L'ensemble des distributions du groupe reliées au CESCI peut appartenir à un ou plusieurs groupes. Le calcul suivant permettra de répartir les consommations en énergie finale du CESCI dans chacun des groupes concernés, au prorata de leurs besoins d'ECS.

Si

$$\sum_{ds-e\in CESCI} Q_{W_{2nd}-e}^{ds-e}(h) \neq 0,$$

$$Rat_{besoins\_\sec\_e}^{gr}(h) = \frac{\sum_{\substack{ds-e\in CESCI \\ ds-e\in gr}} Q_{W_{2nd}-e}^{ds-e}(h)}{\sum_{ds-e\in CESCI} Q_{W_{2nd}-e}^{ds-e}(h)} \quad (2038)$$

Sinon

$$Rat_{besoins\_sec\_e}^{gr}(h) = Rat_{surf}^{gen,gr}(h)$$

9.16.3.1.6.6 Demande d'énergie au niveau d'un ballon individuel

Un ensemble de ballons *B* reçoit une demande d'énergie d'ECS. La demande d'énergie au niveau d'un ballon est égale à l'énergie demandée au niveau de l'ensemble, divisée par le nombre de ballons individuels de l'ensemble nb^{B}_{sto}.

$$Q_{w\_sto\_unit-e} = \frac{\sum_{ds-e \in B} Q^{ds-e}_{w\_2nd-e}(h)}{nb^{B}_{sto}} \quad (2039)$$

9.16.3.1.6.7 Température d'eau entrant dans les ballons

L'eau entrant dans tous les ballons est de l'eau froide :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{cw}(h) \quad (2040)$$

9.16.3.1.7 Fonctionnement des générateurs d'appoint des ballons

Ces générateurs peuvent être mixtes.

9.16.3.1.7.1 Ratio des surfaces et des besoins de chauffage de chaque groupe

(Note : le calcul est similaire à celui de la gestion-régulation des distributions intergroupes de chauffage et de refroidissement (cf. C-DIST-Gestion/régulation des distributions intergroupes de chaud et de froid.*))*

Les distributions du groupe de chauffage sont reliées directement au CESCI. Pour répartir les consommations du CESCI dans chacun des groupes desservis, les ratios suivants sont utilisés.

L'énergie totale en entrée du réseau du CESCI est la somme des besoins augmentés des pertes pour chaque réseau de distribution du groupe :

$$Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h) = \sum_{ds \to CESCI} Q^{ds}_{sys\_ch}(h) \quad (2041)$$

La surface desservie par les générateurs du CESCI est la somme des surfaces desservies par chacun des émetteurs en chauffage:

$$Rat^{CESCI,gr}_{surf\_ch}(h) = Rat^{CESCI,gr}_{surf\_dess\_ch}(h) = \frac{\left(\sum_{\substack{em \in gr \\ em \to CESCI}} Rat^{gr,em}_{eff\_ch}\right) * A^{gr}}{\sum_{gr \leftarrow CESCI}\left[\left(\sum_{\substack{em \in gr \\ em \to CESCI}} Rat^{gr,em}_{eff\_ch}\right) * A^{gr}\right]} \quad (2042)$$

Les ratios de consommations expriment la part de chacun des groupes dans le total d'énergie requis dans le CESCI.

En l'absence de besoins de chaud ($Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)=0$), on répartit les consommations résiduelles au prorata des surfaces desservie dans chaque groupe.

Si $Q_{sys_{ds_{req_{ch}}}}(h) > 0$ alors,

$$Rat_{bes\_ch}^{CESCI,gr}(h) = \frac{\sum_{\{ds \in gr \atop ds \to CESCI} Q_{sys\_ch}^{ds}(h)}{Q_{sys\_ds\_req\_ch}(h)} \quad (2043)$$

Sinon,

$$Rat_{bes\_ch}^{CESCI,gr}(h) = Rat_{surf\_ch}^{CESCI,gr}(h)$$

9.16.3.1.7.2 Demande d'énergie de chauffage au niveau d'un générateur d'appoint

La demande d'énergie de chauffage au niveau d'un générateur d'appoint d'un ballon est égale à l'énergie demandée au niveau de l'ensemble, divisée par le nombre de générateurs d'appoint (égal au nombre de ballons individuels) de l'ensemble nb^{B}_{sto}.

$$Q_{req\_tot\_sr\_ch}(h) = \frac{\sum_{ds \in CESCI} Q_{sys\_ch}^{ds}(h)}{nb_{sto}^{B}} \quad (2044)$$

9.16.3.1.7.3 Gestion des générateurs d'appoint

Par convention, le type de fonctionnement des générateurs d'appoint est en cascade.

$$id_{type\_priorite} = 2 : Générateurs\ en\ cascade \quad (2045)$$

9.16.3.1.7.4 Indicateur de relance en chauffage

Le CESCI fonctionne en mode relance lorsque le groupe connecté est en période de relance :

$$id_{relance\_ch}(h) = \underset{\{ds \to CESCI \atop id_{fonction}^{ds}=1}{MAX} (id_{relance}^{CESCI}(h)) \quad (2046)$$

9.16.3.1.7.5 Indicateur de raccordement

Dans le cadre des PCAD, les générateurs d'appoint (présents dans chaque logement) sont isolés hydrauliquement de la génération.

$$id_{raccord}^{gnr}(h) = 1 \quad (2047)$$

9.16.3.1.7.6 Prise en compte des sources amont des générateurs

Les sources amont ne concernent que les générateurs thermodynamiques ou générateurs matrices dont le comportement dépend d'une température amont (types 503 à 509).

La fiche « C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques» se décompose en deux sous-fonctions. L'une permettant le calcul de la température amont du générateur en fonction des conditions extérieures.

Les températures de sources amont horaires sont calculées une fois pour l'ensemble des générateurs thermodynamiques associés à une même source amont :

$$\theta_{amont}^{SA}(h) = CalculTempAmont(\Phi_{rejet}^{gnr}(h-1)) \quad (2048)$$

Et pour tout générateur relié à la source amont : $\theta_{amont}^{gnr}(h) = \theta_{amont}^{SA}(h)$

9.16.3.1.7.7 Générations alimentant des réseaux hydrauliques (id_{type}^{dp}=1)

La génération peut :

- fonctionner à température constante tout au long de la période de chauffage,
- adapter sa température de fonctionnement selon le paramétrage défini au niveau des réseaux de distribution de chauffage et de refroidissement. Dans ce deuxième cas, la période de relance se traduit par un fonctionnement à température maximale.

Lors d'un report de demande en énergie non-assurée, on conserve pour le calcul des performances la température au pas de temps précédent.

En chauffage, si les réseaux sont de types hydrauliques :

Si $id_{gestion\_ch} = 1$, , *alors,*

$$\theta_{aval\_ch}(h) = \theta_{wm\_ch}$$

Sinon,

Si $id_{relance\_ch}(h) = 1$, alors, (*relance de chauffage*)

$$\theta_{aval\_ch}(h) = \theta_{dist\_ch\_max}^{gen}$$

Sinon,

Si $Q_{ch\_req\_sr\_tot}(h) = 0$ et $Q_{ch\_req\_ar\_tot}(h) > 0$, alors,

$$\theta_{aval\_ch}(h) = \theta_{aval\_ch}(h-1)$$

Sinon,

$$\theta_{aval\_ch}(h) = \underset{\begin{cases} ds \to gen \\ id_{fonction}^{ds} = 1 \end{cases}}{MAX} \left(\theta_{moy}^{ds}(h)\right) \quad (2049)$$

Où $\theta_{moy}^{ds}(h)$ est égal à

$$\theta_{moy}^{ds}(h) = \frac{\theta_{dep}^{ds}(h) + \theta_{ret}^{ds}(h)}{2} \quad (2050)$$

9.16.3.1.7.8 Générations sur air (réseaux fictifs : id_{type}^{ds}=0)

La température de fonctionnement est calculée au prorata des températures d'air équivalentes vues par les différentes distributions intergroupes. Il peut s'agir des températures d'air ambiantes ou des températures au niveau des batteries de préchauffage ou prérefroidissement des CTA.

En chauffage, si les réseaux sont de types fictifs

$$\theta_{aval\_ch}(h) = \sum_{\begin{cases} ds \to CESCI \\ id_{fonction}^{ds} = 1 \end{cases}} Rat_{bes\_gen\_ch}^{ds}(h).\theta_{i,aval,eq}^{ds}(h) \quad (2051)$$

9.16.3.1.7.9 Demandes en chauffage par poste en incluant le report de demande de chauffage

Les demandes totales en chauffage horaires par poste sont utilisées pour la répartition des charges au sein de la génération. De manière générale, elles sont corrigées pour prendre en compte les éventuels reports d'énergie au pas de temps précédent.

$$Q_{req\_tot\_ar\_ch}(h) = Q_{req\_tot\_sr\_ch}(h) + Q_{rep\_ch}(h-1) \quad (2052)$$

9.16.3.2 *Ordre des calculs*

Les étapes de calculs de l'assemblage seront reproduites pour chaque ensemble de ballons du CESCI. Seule la boucle solaire est commune à tous les ballons, ce qui induit un calcul de répartition détaillé ci-dessous.

Au début du pas de temps, le champ de température du ballon est connu. La génération débute par le fonctionnement ECS et poursuit par le chauffage.

5. La première étape : volume puisé

Dans le cas des appoints intégrés (Type_PCAD=0)

La première étape débute par un calcul itératif entre la fiche « gestion-régulation base » et la fiche « ballon de stockage » pour le calcul du volume puisé. L'énergie requise est égale à $Q_{w\_sto\_unit\text{-}e}(h)$.

A chaque itération, le volume puisé calculé (à partir de la température de la zone supérieure du ballon de l'itération précédente) est envoyé aux algorithmes du ballon de stockage. Ces derniers déterminent les températures du ballon après un éventuel mélange, mais sans tenir compte des apports de puissance et des pertes du ballon.

Il faut attendre la fin de la boucle itérative de chaque ensemble de ballons, de manière à connaitre toutes les températures de tous les ballons constituant le CESCI, avant de lancer la deuxième étape.

Dans le cas des appoints séparés instantanés (Type_PCAD=2)

La première étape débute par la boucle itérative pour le calcul du volume puisé, entre la fiche « gestion-régulation base » et la fiche « ballon de stockage ».

Le principe est le suivant : à chaque itération, le volume puisé calculé est envoyé aux algorithmes du ballon de stockage. Les températures du ballon sont actualisées (sans tenir compte ni des apports d'énergie ni des pertes de stockage).

La boucle itérative s'arrête lorsque toute l'énergie requise a été puisée dans le ballon. Le champ de température du ballon après puisage est connu.

Dans les assemblages de ballon à appoint séparé instantané, le volume puisé se calcule de manière légèrement différente que dans les autres assemblages. Les calculs de la fiche « gestion-régulation base du ballon » sont à remplacer par les algorithmes suivants.

A la première itération (*i=1*), on pose

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(h) \quad (2053)$$

Si la demande d'énergie ne peut être satisfaite, l'énergie à puiser sera reportée à l'itération suivante.

Si $\theta_{b4}(h\text{-}1) > \theta_{max}^{gen}$

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{b4}(h-1) - \theta_{cw}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right) \quad (2054)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot (\theta_{b4}(h-1) - \theta_{cw}(i))$$

Si $\theta_{cw}(h) \leq \theta_{b4}(h-1) \leq \theta_{max}^{gen}$

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{max}^{gen} - \theta_{cw}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot (\theta_{b4}(h-1) - \theta_{cw}(i)) \quad (2055)$$

Sortie de la boucle de puisage

Si $\theta_{b4}(h-1) < \theta_{cw}(h)$

$$V_p(i) = 0$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) \quad (2056)$$

La boucle itérative continue tant que ($1< i \leq Nb_{iter\_vp}$ et $Q_{w\_sto\_unit\_report}(i)\neq 0$)

$$Q_{w\_sto\_unit}(i) = Q_{w\_sto\_unit\_report}(i-1) \quad (2057)$$

De même que précédemment,

Si $\theta_{b4}(i-1) > \theta_{max}^{gen}$

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{b4}(i-1) - \theta_{cw}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right) \quad (2058)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot (\theta_{b4}(i-1) - \theta_{cw}(i))$$

Si $\theta_{cw}(h) \leq \theta_{b4}(i-1) \leq \theta_{max}^{gen}$

$$V_p(i) = min\left(\frac{Q_{w\_sto\_unit}(i)}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{max}^{gen} - \theta_{cw}(i))}, \{V_z\}_{z\in\{1,4\}}\right)$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) - \rho_w \cdot c_w \cdot V_p(i) \cdot (\theta_{b4}(i-1) - \theta_{cw}(i)) \quad (2059)$$

Sortie de la boucle de puisage

Si $\theta_{b4}(i-1) < \theta_{cw}(h)$

$$V_p(i) = 0$$

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(i) = Q_{w\_sto\_unit}(i) \quad (2060)$$

Pour une température de la zone de puisage (θ_{b4}) inférieure à la température maximale attendue par les réseaux intergroupes (θ_{max}^{gen}), le volume puisé ne dépend pas de la température du ballon puisqu'il est calculé avec un écart de température constant. De ce fait, l'appoint est nécessaire.

Dans le cas contraire, le ballon peut assurer seul la demande d'énergie. L'appoint ne fonctionne pas.

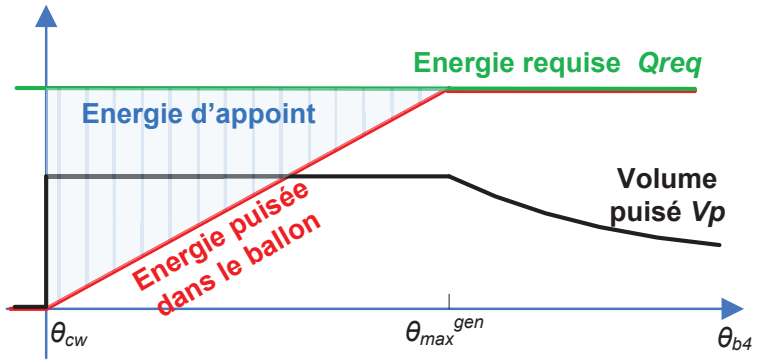


Figure 201 - logique de puisage dans le ballon dans le cas d'un générateur type CESCI

6. Deuxième étape : la boucle solaire

La boucle solaire est indépendante de la gestion-régulation de la base des ballons. Elle fournit l'énergie disponible, tant que le (ou les) élément(s) de stockage ne dépasse(nt) pas la température maximale.

Température moyenne des zones inférieures des ballons

Pour faire le bilan énergétique de la boucle solaire et obtenir Q_{sol}, il est nécessaire de connaître la température moyenne des zones inférieures de tous les ballons individuels de l'assemblage.

$$\theta^{CESCI}_{b\_moy\_ech}(h) = \frac{\sum_{B \in CESCI}\left(\sum_{sto \in B} V^{sto}_{z_{base}} * \theta^{sto,base}_{b\_moy\_ech}(h)\right)}{\sum_{B \in CESCI}\sum_{sto \in B} V^{sto}_{z_{base}}} \quad (2061)$$

Energie solaire injectée

Après le bilan énergétique de la boucle solaire, l'énergie solaire totale transférée aux ballons est répartie à chaque ensemble de ballons au prorata de leurs volumes. Puis répartie équitablement à chaque ballon au sein d'un même ensemble.

Pour chaque ensemble {B}

$$Q^{B}_{sol\_ens} = Q_{sol} \cdot \frac{V^{sto}_{z_{base}} * nb^{B}_{sto}}{\sum_{B \in CESCI}\left(V^{sto}_{z_{base}} * nb^{B}_{sto}\right)} \quad (2062)$$

Pour un ballon individuel appartenant à l'ensemble {B}

$$Q_{sol\_unit} = \frac{Q^{B}_{sol\_ens}}{nb^{B}_{sto}} \quad (2063)$$

Le (ou les) échangeur(s) est (sont) intégré(s) au modèle de boucle solaire.

La puissance de (ou des) pompe(s) de la boucle solaire sera ajoutée à la consommation des auxiliaires électriques de l'assemblage.

7. Troisième étape : l'élément de stockage ECS

Après injection de l'énergie solaire unitaire dans le ballon, il faut recalculer le champ de températures du ballon.

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

1. La boucle solaire est connectée à la zone $z = z_{base} = 1$ donc l'entrée du ballon $Q_{i,1}$ reçoit la sortie de la boucle solaire Q_{sol_unit}. Les pertes thermiques sont également comptées.

2. La zone $z = 2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,2} = 0$ $Q_{i,2} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

3. La zone $z = 3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

4. La zone $z = 4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

Une fois l'énergie reçue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

8. Quatrième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon

Dans le cas des appoints intégrés (Type_PCAD=0)

La position de l'appoint dans le ballon est un paramètre d'intégration. Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir les zones chauffées par l'appoint à la température de consigne.

Dans le cas des appoints séparés instantanés (Type_PCAD=2)

Le puisage dans le ballon permet de soutirer une certaine quantité d'énergie dédiée à l'ECS. Le rôle du générateur d'appoint sera de fournir l'éventuel complément d'énergie.

$$Q_{rest\_ecs}(h) = nb_{assembl} \times Q_{w\_sto\_unit\_report}(h) \quad (2064)$$

De plus, le générateur d'appoint étant séparé de l'assemblage, le report d'énergie dans le ballon au pas de temps suivant $Q_{w\_sto\_unit\_report}$ n'a pas de sens :

$$Q_{w\_sto\_unit\_report}(h) = 0 \quad (2065)$$

9. Cinquième étape : générateur d'appoint

Le générateur détermine à partir de l'énergie requise $Q_{req\_sto\_ap}$, de la température moyenne du ballon vue par l'échangeur et des caractéristiques de ce dernier, l'énergie réellement fournie en appoint.

Algorithme principal pour les générateurs instantanés

Les algorithmes seront décrits avec l'indice *[po.]*, pouvant représenter les indices *ch, fr* ou *ecs*. Les paragraphes spécifiques à l'un ou l'autre des usages sont précisés.
On notera $G_{[po.]}$ l'ensemble des générateurs (ou systèmes de stockage, dans le cadre d'une gestion en cascade) participant à la fourniture du poste *[po.]*.

Note : la puissance nominale d'un générateur en chauffage et/ou ECS est un paramètre commun, étant donné que ces fonctions sont couplées.

Note2 : En CESCI, seul le mode cascade ($id_{type\_priorite}$=2) est autorisé.

Le déroulement est le suivant :

- **ETAPE 1** : initialisation des compteurs d'énergie et des indicateurs de fonctionnement :

$$\begin{cases} Q_{req} = Q_{req\_tot\_ar\_ch}(h) \\ Q_{rest} = Q_{req\_tot\_ar\_ch}(h) \end{cases} \quad (2066)$$

- **ETAPE 2** : fonctionnement en refroidissement absent des CESCI.

- **ETAPE 3** : appel des générateurs en **ECS** selon leurs disponibilités. Dans les CESCI appoints intégrés, l'appel en ECS se fait exclusivement par la production stockage (cf. ci-dessus), pour les appoints séparés instantanés l'appel en ECS passe par l'objet PCAD.

(Calculs des générateurs en stand-by)

10. Sixième étape : l'élément de stockage ECS

*Dans le cas des appoints intégrés (Type_PCAD=0)*A cette étape, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint dans la zone z_{ap} sera intégrée au calcul des températures du ballon. Les températures sont actualisées.

Dans le cas des appoints séparés instantanés (Type_PCAD=2)

Le puisage dans le ballon a permis de soutirer une certaine quantité d'énergie dédiée à l'ECS. Le rôle du générateur d'appoint sera de fournir l'éventuel complément d'énergie.

11. Septième étape : les générateurs d'appoint en mode chauffage

Le fonctionnement des générateurs en mode chauffage suit le fonctionnement en mode ECS.

Lorsque les générateurs d'appoint des ballons du CESCI assurent également le chauffage, l'objet PCAD appelle ces derniers (conformément à la fiche C_GEN_Gestion/régulation de la génération) pour couvrir les besoins de chauffage. La puissance disponible de ces générateurs en mode chauffage dépend de la durée de fonctionnement du générateur en mode ECS.

(Reprise des calculs des générateurs)

- **ETAPE 4** : appel des générateurs en **chauffage** selon leurs disponibilités :

$$id_{fonction} = 1 \quad (2067)$$

  - **Hors saison de fonctionnement :** $Aut_{ch}(j) \neq 1$

    Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

  - **En saison de fonctionnement :** $Aut_{ch}(j) = 1$

DEBUT DE LA BOUCLE : générateur $gnr \in G_{ch}$ (2068)

Calcul du ratio de puissance disponible

$R_{pui\_dispo} = 1 - R^{gnr}_{fonctecs}(h)$

Si $R_{pui\_dispo} > 0$, alors, *(si la puissance disponible n'est pas nulle)*

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta^{gnr}_{amont}(h) \\ \theta_{aval\_ch}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui\_dispo} \end{bmatrix}$$

Report de puissance :

$Q_{req} = Q_{rest}$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur :

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de

gauche $\begin{cases} \left\{Q^{gnr}_{cef(1;enr)}(h)\right\} += \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q^{gnr}_{cons}(h) += Q_{cons} \\ Q^{gnr}_{fou\_ch}(h) = Q_{fou} \\ Q^{gnr}_{prelec}(h) += Q_{prelec} \\ \tau^{gnr}_{charge}(h) += R_{pui\_dispo} \cdot \tau_{charge} \end{cases} \begin{cases} \varphi^{gnr}_{rejet}(h) += \varphi_{rejet} \\ \varphi^{gnr}_{vc}(h) += \varphi_{vc} \\ W^{gnr}_{aux,pro}(h) += W_{aux,pro} \\ W^{gnr}_{aux}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta^{gnr}_{eff\_ch}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{ch}$ tel que $id^{gnr'}_{priorite\_ch}$ premier indicateur supérieur à $id^{gnr}_{priorite\_ch}$ parmi les générateur de G_{ch},

ou FIN DE LA BOUCLE

- **ETAPE 5** : calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le dernier générateur de la cascade)

$$Q_{rep\_ch}(h) = Q_{rest} \qquad (2069)$$

Calculs des auxiliaires amont des générateurs

La fiche « C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques» décrit le calcul des puissances d'auxiliaires amont en fonction de la charge des différents générateurs thermodynamiques reliés.

Le calcul est réalisé après finalisation des algorithmes de gestion des priorités, pour l'ensemble des générateurs tels que $id^{gnr}_{source\_amont} = 1$, uniquement pendant les périodes de fonctionnement du générateur :

Soit l'ensemble des générateurs gnr = 1 à N associés à la source amont SA :

$$\left[W_{aux,am}^{gnr}(h)\right]_{gnr=1\ à\ N} = CalculAuxAmont^{SA}(\left[\tau_{c□arge}^{gnr}(□)\right]_{gnr=1\ à\ N}) \quad (2070)$$

La consommation des auxiliaires amont est ajoutée à celle des auxiliaires, ainsi qu'à la matrice de consommations du générateur au prorata des charges dans les différents postes.

$$W_{aux}^{gnr}(h) += W_{aux,am}^{gnr}(h) \quad (2071)$$

Si $\tau_{ch\,arg\,e}^{gnr}(h) > 0$, alors,

$$Q_{cef(1.;50)}^{gnr}(h) += (1 - \frac{R_{fonctecs}^{gnr}(h)}{\tau_{ch\,arg\,e}^{gnr}(h)}).W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

$$Q_{cef(3.;50)}^{gnr}(h) += \frac{R_{fonctecs}^{gnr}(h)}{\tau_{ch\,arg\,e}^{gnr}(h)}.W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

Sinon, *(en l'absence de charge sur le générateur)* (2072)

Si $i_{fougen}^{gnr} = 3$ *ou* $Aut_{ch}(j) = 0$ *(équivalent à* id_{ecs_seule} *=1),* alors,

$$Q_{cef(3.;50)}^{gnr}(h) += W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

Sinon,

$$Q_{cef(1.;50)}^{gnr}(h) += W_{aux,am}^{gnr}(h)$$

Note : les calculs de consommation se font par générateur. Pour obtenir les consommations totales du CESCI, ces consommations seront multipliées par le nombre de générateurs présents, à savoir $Rdim * nb_{sto\_b}$ (cf. § 9.16.3.4.2.1.)

9.16.3.3 *L'assemblage du CESCI*

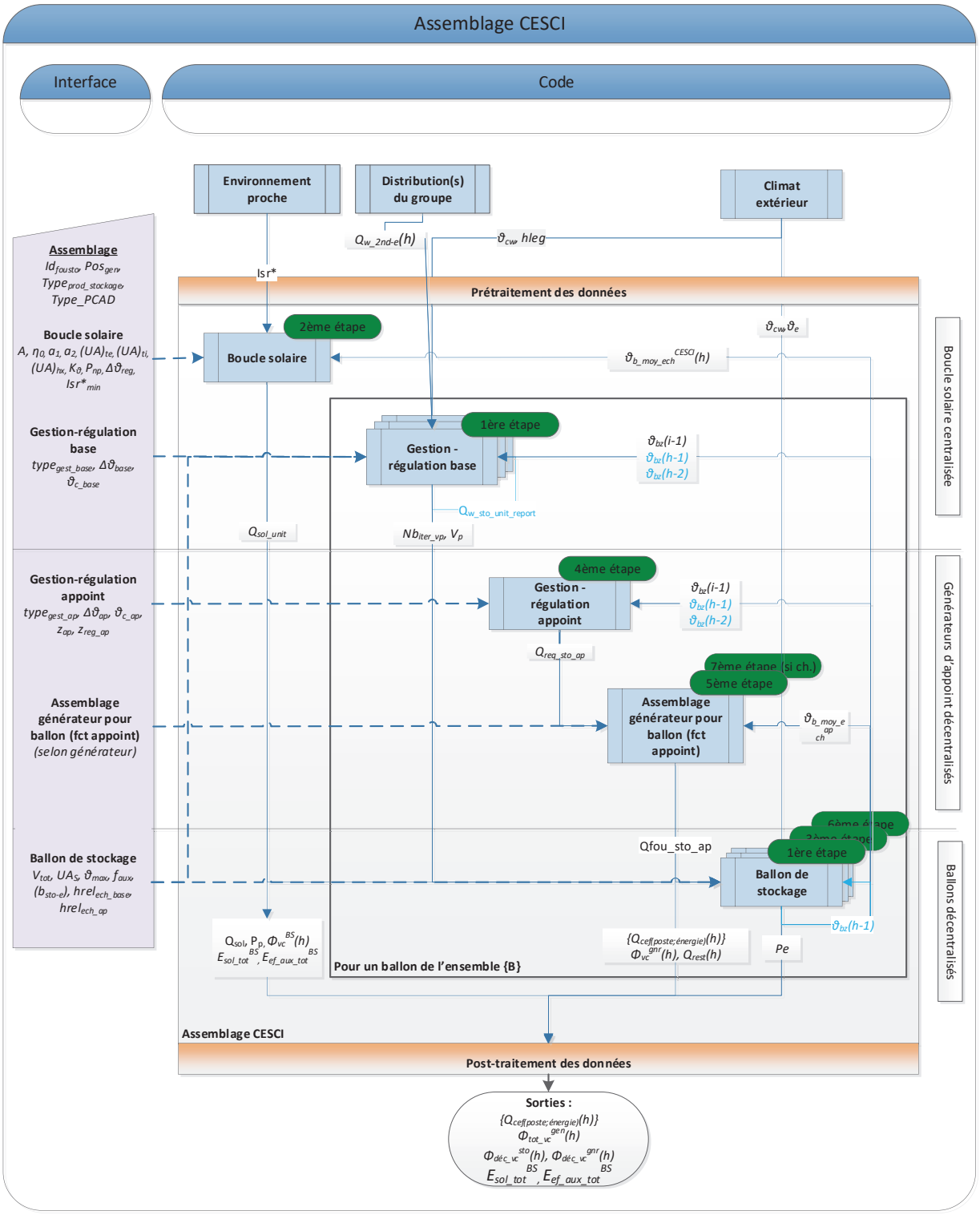


Figure 202 : Schéma d'assemblage du modèle de CESCI

9.16.3.4 *Traitement des données de sortie*

Les résultats de la simulation donnent les énergies consommées par le système d'appoint d'un ballon (sous forme matricielle) et par la ou (les) pompe(s) de la boucle solaire P_p. Ainsi que les pertes thermiques d'un ballon et celles, éventuelles, du générateur d'appoint (les pertes de la boucle solaire sont quant à elles incluses dans le calcul de l'énergie solaire injectée Q_{sol}).

9.16.3.4.1 Sous-dimensionnement des générateurs en chauffage

Les indicateurs de sous-dimensionnement ne concernent que les générateurs d'appoint (le sous-dimensionnement des ballons de stockage est évaluée séparément).

Le nombre d'heures de sous-dimensionnement permet de déclencher les alertes dans le cas où la capacité de la génération est dépassée sur de longues périodes :

$$\begin{aligned} &Si\ Q_{rep\_ch}(h)>0 \\ &\quad Nb_{sousdim\_ch}(h) = Nb_{sousdim\_ch}(h-1)+1 \\ &Sinon, \\ &\quad Nb_{sousdim\_ch}(h) = 0 \end{aligned} \qquad (2073)$$

A partir de 6 heures de sous-dimensionnement successives, on considère qu'il y a sous-dimensionnement:

$$\begin{aligned} &Si\ Nb_{sousdim\_ch}(h) > 6,\ alors, \\ &\quad id_{sousdim\_court\_ch} = 1\ ; \end{aligned} \qquad (2074)$$

A partir de 72 heures de sous-dimensionnement successives, on considère que le sous-dimensionnement a dépassé le seuil critique :

$$\begin{aligned} &Si\ Nb_{sousdim\_ch}(h) > 72,\ alors, \\ &\quad id_{sousdim\_long\_ch} = 1\ ; \end{aligned} \qquad (2075)$$

Le moteur plante.

9.16.3.4.2 Calcul des consommations finales horaires

9.16.3.4.2.1 Pour l'assemblage CESCI

Dans le cas du CESCI, la consommation en énergie finale est la somme des consommations de tous les générateurs d'appoint (présentées sous forme de matrice) ajoutée à la consommation de la pompe de la boucle solaire. Elle s'exprime, à chaque pas de temps, de la façon suivante :

$$\left\{Q^{CESCI}_{cef(3;energie)}(h)\right\} = \sum_{B}\left(nb^{B}_{sto}\cdot\left\{Q^{appoint}_{cef(3;energie)}(\square)\right\}\right) + \left\{Q^{BS}_{cef(3;energie)}(\square)\right\} \qquad (2076)$$

$$\left\{Q^{CESCI}_{cef(1;energie)}(h)\right\} = \sum_{B}^{\Sigma}\left(nb^{B}_{sto}\cdot\left\{Q^{appoint}_{cef(1;energie)}(\square)\right\}\right) \qquad (2077)$$

9.16.3.4.2.2 Par groupe

$$\left\{Q^{CESCI,gr}_{cef(3;energie)}(h)\right\} = \left\{Q^{CESCI}_{cef(3;energie)}(h)\right\} * Rat^{gr}_{besoins\_sec\_e}(h) \quad (2078)$$

$$\left\{Q^{CESCI,gr}_{cef(1;energie)}(h)\right\} = \left\{Q^{CESCI}_{cef(1;energie)}(h)\right\} * Rat^{CESCI,gr}_{bes\_ch}(h) \quad (2079)$$

9.16.3.4.3 Calcul des consommations mensuelles et annuelles

Les consommations en énergies finale et primaire de l'assemblage CESCI sont présentées sous forme mensuelles et annuelles, au niveau de l'assemblage et au niveau du groupe.

9.16.3.4.3.1 Pour l'assemblage CESCI

Pour le chauffage

$$C^{CESCI}_{ef\_ch\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} Q^{CESCI}_{cef(1;en)}(\square)$$
$$C^{CESCI}_{ep\_ch\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} (Q^{CESCI}_{cef(1;en)}(\square).Coef_{ep(en)}) \quad (2080)$$

$$C^{CESCI}_{ef\_ch} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCI}_{ef\_ch\_m}$$
$$C^{CESCI}_{ep\_ch} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCI}_{ep\_ch\_m} \quad (2081)$$

Pour l'ECS

$$C^{CESCI}_{ef\_ecs\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} Q^{CESCI}_{cef(3;en)}(\square)$$
$$C^{CESCI}_{ep\_ecs\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} (Q^{CESCI}_{cef(3;en)}(\square).Coef_{ep(en)}) \quad (2082)$$

$$C^{CESCI}_{ef\_ecs} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCI}_{ef\_ecs\_m}$$
$$C^{CESCI}_{ep\_ecs} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCI}_{ep\_ecs\_m} \quad (2083)$$

9.16.3.4.3.2 Par groupe

Pour le chauffage

$$C^{CESCI,gr}_{ef\_c\square\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} Q^{CESCI,gr}_{cef(1;en)}(\square)$$
$$C^{CESCI,gr}_{ep\_c\square\_m} = \sum_{h\in mois}\sum_{em=10}^{60} (Q^{CESCI,gr}_{cef(1;en)}(\square).Coef_{ep(en)}) \quad (2084)$$

$$C_{ef\_ch}^{CESCI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ch\_m}^{CESCI,gr}$$
$$C_{ep\_ch}^{CESCI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ch\_m}^{CESCI,gr} \quad (2085)$$

Pour l'ECS

$$C_{ef\_ecs\_m}^{CESCI,gr} = \sum_{h\in mois} \sum_{em=10}^{60} Q_{cef(3;en)}^{CESCI,gr}(\square)$$
$$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCI,gr} = \sum_{h\in mois} \sum_{em=10}^{60} (Q_{cef(3;en)}^{CESCI,gr}(\square).Coef_{ep(en)}) \quad (2086)$$

$$C_{ef\_ecs}^{CESCI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ecs\_m}^{CESCI,gr}$$
$$C_{ep\_ecs}^{CESCI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ecs\_m}^{CESCI,gr} \quad (2087)$$

9.16.3.4.3.3 Consommations en énergie finale et primaire par type d'énergie

Si les appoints des ballons de l'assemblage CESCI sont par hypothèse de même nature (type d'énergie, puissance maximale,…), les informations qui sortent de l'assemblage CESCI doivent respecter un certain formalisme. C'est pourquoi il est nécessaire de construire les matrices des consommations par type d'énergie.

9.16.3.4.3.3.1 <u>Pour l'assemblage CESCI</u>

Les consommations par type d'énergie et par CESCI s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;10)}^{CESCI}(\square)) \quad (2088)$$
$$C_{ef\_fod}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;20)}^{CESCI}(\square)) \quad (2089)$$
$$C_{ef\_c\square a}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;30)}^{CESCI}(\square)) \quad (2090)$$
$$C_{ef\_boi}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;40)}^{CESCI}(\square)) \quad (2091)$$
$$C_{ef\_ele}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;50)}^{CESCI}(\square)) \quad (2092)$$
$$C_{ef\_rdc}^{CESCI} = \sum_{\square=0}^{8760} \sum_{po=1}^{3} (Q_{cef(po;60)}^{CESCI}(\square)) \quad (2093)$$

$$C_{ep\_gaz}^{CESCI} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{CESCI} \quad (2094)$$

$$C_{ep\_fod}^{CESCI} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{CESCI} \quad (2095)$$

$$C_{ep\_cha}^{CESCI} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{CESCI} \quad (2096)$$

$$C_{ep\_boi}^{CESCI} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{CESCI} \quad (2097)$$

$$C_{ep\_ele}^{CESCI} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{CESCI} \quad (2098)$$

$$C_{ep\_rdc}^{CESCI} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{CESCI} \quad (2099)$$

9.16.3.4.3.3.2 Pour l'assemblage CESCI et par groupe

Les consommations par type d'énergie et par CESCI, pour un groupe, s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;10)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2100)$$

$$C_{ef\_fod}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;20)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2101)$$

$$C_{ef\_c\square a}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;30)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2102)$$

$$C_{ef\_boi}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;40)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2103)$$

$$C_{ef\_ele}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;50)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2104)$$

$$C_{ef\_rdc}^{CESCI,gr} = \sum_{po=1}^{3} \sum_{\square=0}^{8760} (Q_{cef(poste;60)}^{CESCI,gr}(\square)) \quad (2105)$$

$$C_{ep\_gaz}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{CESCI,gr} \quad (2106)$$

$$C_{ep\_fod}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{CESCI,gr} \quad (2107)$$

$$C_{ep\_cha}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{CESCI,gr} \quad (2108)$$

$$C_{ep\_boi}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{CESCI,gr} \quad (2109)$$

$$C_{ep\_ele}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{CESCI,gr} \quad (2110)$$

$$C_{ep\_rdc}^{CESCI,gr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{CESCI,gr} \quad (2111)$$

9.16.3.4.4 Energie restante à fournir par les générateurs

dans le cas d'appoint intégré (Type_PCAD=0)

Dans le cas de la production d'eau chaude avec stockage, pour les PCAD de type appoint intégré ou appoint séparé, le report d'énergie est géré au niveau du puisage dans le ballon et non, contrairement aux systèmes de production instantanée, au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon.

$$Q_{rest}^{gnr}(h) = 0 \quad (2112)$$

*Dans le cas des appoints séparés instantanés (Type_PCAD=2)*De manière similaire aux principes définis par la gestion régulation de la génération, l'énergie restante au niveau du générateur instantané d'appoint sera reportée au pas de temps suivants.

9.16.3.4.5 Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de l'assemblage CESCI récupérables par l'ambiance concernent les ballons décentralisés et leurs générateurs d'appoint (appartenant à un groupe) mais aussi la boucle solaire.

9.16.3.4.5.1 Au niveau de l'assemblage CESCI

La génération centralisée ne contient que la boucle solaire (ses pertes thermiques vers l'ambiance seront réparties au prorata des groupes desservis dans les algorithmes des pertes récupérables).

$$\Phi_{tot\_vc}^{gen}(h) = \Phi_{vc}^{BS}(h) \quad (2113)$$

9.16.3.4.5.2 Au niveau du (des) groupe(s)

Les pertes thermiques des ballons et générateurs d'appoints décentralisés sont directement récupérables par les ambiances du groupe auquel ils appartiennent.

$$\Phi_{déc\_vc}^{sto}(h) = \sum_{sto \in gr} (nb_{sto} * Pe(h)) * Is_{sto\_vc} \quad (2114)$$

$$\Phi_{déc\_vc}^{gnr}(h) = \sum_{gnr \in gr} \left(nb_{sto} * \Phi_{vc}^{gnr}(h)\right) \quad (2115)$$

$$\Phi_{tot\_vc}^{gen,gr}(h) = \Phi_{tot\_vc}^{gen}(h) * Rat_{surf}^{gen,gr} \quad (2116)$$

9.17 **S2_GEN_CESCAI**

9.17.1 INTRODUCTION

Cette fiche algorithme décrit l'assemblage des fiches principales constituant le système solaire collectif à appoint individuel (ou CESCAI). On trouve ce type de production en logements collectifs.

Cette production est constituée d'un élément de stockage centralisé, alimentée uniquement par une boucle solaire. De ce stockage central part un réseau de distribution intergroupe qui alimente des ballons décentralisés (ou individuels). Chacun de ces ballons intègre un appoint, dans le cas où l'énergie extraite du ballon solaire est insuffisante pour couvrir la totalité de la demande d'énergie.

Comme le CESCI, le CESCAI est de même nature dans le code qu'une génération.

9.17.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 296 donne la nomenclature des différentes variables du modèle d'assemblage des fiches algorithmes liées à l'assemblage CESCAI.

Entrées du système

Nom	Description	Unité
*Isr**	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m²
$\theta_e(h)$	Température extérieure	°C
$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
$A^{gr,em-e}$	Surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	m²
$Q_{w\_2nd-e}(h)$	Besoins d'ECS majorés des pertes de distributions du groupe	Wh
h_{leg}	Heure légale *(+voir fiche(s) d'assemblage du (ou des) générateurs)*	h

Paramètres intrinsèques du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
nb_{sto}^{B}	Nombre de ballons de stockage décentralisés de l'ensemble {B} strictement identiques	-	0	+∞	-
nb_{sto}^{centr}	Nombre de ballons de stockage centralisés *(voir paramètres des fiches de l'assemblage)*	-	0	+∞	1

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Type_PCAD	Type de production centralisée à appoints décentralisés : 0- CESCI (Chauffe-Eau Solaire Collectif Individualisé) 1- CESCAI (Chauffe-Eau Solaire Collectif à Appoint Individuel)	-	0	1	
nb_{ens}	Nombre d'ensemble de ballons décentralisés strictement identiques	-	0	+∞	-
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent.	1	5	3
pos_{gen}	Position de l'assemblage CESCAI *0 : Hors volume chauffé,* *1 : En volume chauffé.* *(voir paramètres des fiches de l'assemblage)*	Ent	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Phi_{pertes\_vc\_prim-e}(h)$	Pertes en volume chauffé du réseau de distribution intergroupes d'ECS	Wh

	$W_{aux\_prim\text{-}e}$	Consommation des auxiliaires du réseau de distribution intergroupes d'ECS	Wh
	$W_{rechauf\_prim\text{-}e}$	Consommation électrique de l'éventuel réchauffeur de la distribution intergroupe bouclée d'ECS, en énergie finale	Wh
Stockage décentralisé	$\Phi_{déc\_vc}^{sto}(h)$	Pertes vers des espaces chauffés des systèmes des ballons décentralisés de l'ECS.	Wh
Génération décentralisée	$\Phi_{déc\_vc}^{gnr}(h)$	Pertes et consommations des auxiliaires des générateurs décentralisés transmises au volume chauffé.	Wh
	$\Phi_{tot\_vc}^{gen}(h)$	Pertes et consommations des auxiliaires du CESCAI (càd de la génération) transmises au volume chauffé.	Wh
	$Rat_{surf}^{gen,gr} = Rat_{surf}^{CESCAI,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-
	$E_{sol\_tot}^{BS}$	Energie totale annuelle cumulée transmise à l'échangeur de la boucle solaire	Wh/an
	$E_{ef\_aux\_tot}^{BS}$	Energie totale annuel cumulée consommée par la pompe de la boucle solaire.	Wh/an
	$\{Q_{cef(poste;énergie)}^{CESCAI}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie.	Wh
	$\{Q_{cef(poste;énergie)}^{CESCAI,gr}(h)\}$	Matrice des consommations en énergie finale en fonction des postes et du type d'énergie, répartie au niveau du groupe	Wh
	$C_{ef\_ecs\_m}^{CESCAI}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par CESCAI	Wh
	$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCAI}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCAI	Wh
	$C_{ef\_ecs}^{CESCAI}$	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par CESCAI	Wh
	$C_{ep\_ecs}^{CESCAI}$	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCAI	Wh
	$C_{ef\_ecs\_m}^{CESCAI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie finale d'ECS, par CESCAI et par groupe	Wh
	$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCAI,gr}$	Consommation mensuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCAI et par groupe	Wh
	$C_{ef\_ecs}^{CESCAI,gr}$	Consommation annuelle en énergie finale d'ECS, par CESCAI et par groupe	Wh
	$C_{ep\_ecs}^{CESCAI,gr}$	Consommation annuelle en énergie primaire d'ECS, par CESCAI et par groupe	Wh
	$\{C_{ef\_gaz}^{CESCAI}, C_{ef\_fod}^{CESCAI}, C_{ef\_cha}^{CESCAI}, C_{ef\_boi}^{CESCAI}, C_{ef\_ele}^{CESCAI}, C_{ef\_rdc}^{CESCAI}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale (de chaud, de froid et d'ECS) par CESCAI	Wh
	$\{C_{ep\_gaz}^{CESCAI}, C_{ep\_fod}^{CESCAI}, C_{ep\_cha}^{CESCAI}, C_{ep\_boi}^{CESCAI}, C_{ep\_ele}^{CESCAI}, C_{ep\_rdc}^{CESCAI}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie par CESCAI	Wh
	$\{C_{ef\_gaz}^{CESCAI,gr}, C_{ef\_fod}^{CESCAI,gr}, C_{ef\_cha}^{CESCAI,gr}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie finale par CESCAI et par groupe	Wh

	$\{C_{ef\_boi}^{CESCAI,gr}, C_{ef\_ele}^{CESCAI,gr}, C_{ef\_rdc}^{CESCAI,gr}\}$		
	$\{C_{ep\_gaz}^{CESCAI,gr}, C_{ep\_fod}^{CESCAI,gr}, C_{ep\_cha}^{CESCAI,gr}, C_{ep\_boi}^{CESCAI,gr}, C_{ep\_ele}^{CESCAI,gr}, C_{ep\_rdc}^{CESCAI,gr}\}$	Matrice des consommations annuelles d'énergie primaire par CESCAI et par groupe	Wh

Variables internes

	Nom	Description	Unité
	$Id_{fonction}(h)$	Indicateur de fonction accompagnant le $Q_{req}(h)$ (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*)	Ent
	$\theta_{ecs\_max}^{gen}$	Température maximale « des réseaux de distribution intergroupes d'ECS connectés à la génération *gen*. »	°C
	V_p	Volume horaire puisé	L/h
	$Q_{fou\_sto\_ap}$	Energie fournie par l'élément chauffant d'appoint	W
	Pe_z	Pertes thermiques des zones du ballon	W
	$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance d'un générateur d'appoint	Wh
	Q_{sol}	Energie transférée à l'échangeur du ballon centralisé	W
	$\Phi_{vc}^{BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
	$\theta_{moy\_prim\text{-}e}$	Température moyenne du réseau de distribution intergroupe d'ECS	°C
Distribution intergrp.	$\Phi_{pertes\_vc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
Distribution intergrp.	$\Phi_{pertes\_hvc\_prim\text{-}e}(h)$	Pertes thermiques horaires hors volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
Propres à l'assemblage	$Rat_{besoins\_sec\_e}(h)$	Ratio des besoins d'ECS d'un réseau de distributions du groupe relié au CESCAI sur la somme de tous les besoins d'ECS du CESCAI	-
Propres à l'assemblage	$Q_{contenue}^{centr}(h)$	Energie contenue dans le ballon centralisé	Wh
Propres à l'assemblage	$Q_{dispo}(h)$	Energie disponible en entrée des appoints décentralisés	Wh
Propres à l'assemblage	$Q_{dispo\_ens}^{B}(h)$	Energie disponible en entrée d'un ensemble d'appoints décentralisés	Wh
Propres à l'assemblage	$Q_{fou\_ens}^{B}(h)$	Energie fournie à un ensemble d'appoints décentralisés	Wh

$Q_{fou\_unit}(h)$	Energie fournie à un appoint décentralisé d'un ensemble	Wh
dec	Indicateur précisant que l'objet est décentralisé (ou individuel)	-
centr	Indicateur précisant que l'objet est centralisé (ou collectif)	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
$\{Coef_{ep(énergie)}\}$	Vecteur des coefficients d'énergie primaire associés aux différents types d'énergie.	Réel	-

Tableau 296 : Nomenclature du modèle

9.17.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DU CESCAI

Cet assemblage est particulier dans le sens où l'ordre « classique » des calculs (des émetteurs aux générateurs) est modifié.

Dans le cas du CESCAI, les calculs s'articulent autour des éléments de stockage décentralisés (notation *déc*). D'une part, on calcule les besoins à assurer par ces ballons, d'autre part l'apport d'énergie provenant du ballon central (notation *centr*).

9.17.3.1 ***Prétraitement des données***

L'évaluation des paramètres d'intégration (propres à l'assemblage) et le calcul des données d'entrée des fiches constituant l'assemblage est détaillé ci-dessous.

9.17.3.1.1 Type d'assemblage

Les algorithmes ci-dessous décrivent l'assemblage CESCAI.

$$Type_{PCAD} = 1 \qquad (2117)$$

9.17.3.1.2 Fonction de l'assemblage

L'assemblage ne peut assurer que des besoins d'ECS. Les ballons centralisé et décentralisés ainsi que les générateurs de base et d'appoint ont la même fonction, c'est-à-dire que

$$\begin{aligned} Id_{fousto}^{centr} &= 3 \\ Id_{fousto}^{dec} &= 3 \\ Id_{fougen} &= 3 \end{aligned} \qquad (2118)$$

9.17.3.1.3 Ballons centralisé et décentralisés

Le ballons centralisé est un « ballon base seule » (avec un échangeur). Les ballons décentralisés sont de type « base+ appoint intégré ».

$$Nb_{sto}^{centr} = 1 \quad et \quad \begin{cases} Type_{prod\_stockage}^{centr} = 0 \\ Type_{prod\_stockage}^{déc} = 1 \end{cases} \qquad (2119)$$

9.17.3.1.4 Position de l'échangeur de la boucle solaire dans le ballon centralisé

L'échangeur de la boucle solaire et la sonde de température se situent dans la zone inférieure du ballon. Le ballon centralisé est un ballon base seule.

$$z_{base}^{centr} = z_{reg\_base}^{centr} = 1 \qquad (2120)$$

9.17.3.1.5 Température de consigne des ballons

Les températures de consigne des ballons sont conventionnellement figées à 55°C.

$$\theta_{c\_base}^{centr} = 55°C$$
$$\theta_{c\_base}^{déc} = \theta_{c\_appoint}^{déc} = 55°C \quad (2121)$$

9.17.3.1.6 Ratio des besoins de chaque groupe

L'ensemble des distributions internes au groupe reliées au CESCAI peut appartenir à un ou plusieurs groupes. Le calcul suivant permettra de répartir les consommations en énergie finale du CESCAI dans chacun des groupes, au prorata de leurs besoins.

$$Rat_{besoins\_sec\_e}^{gr}(h) = \frac{\sum_{\substack{ds-e \in CESCAI \\ ds-e \in gr}} Q_{w\_2nd-e}^{ds-e}(h)}{\sum_{ds-e \in CESCAI} Q_{w\_2nd-e}^{ds-e}(h)} \quad (2122)$$

9.17.3.1.7 Ratio des surfaces de chaque groupe desservi

Le calcul suivant permettra de répartir les pertes thermiques des composants centralisés du CESCAI (c'est-à-dire la boucle solaire, le ballon central et la distribution intergroupe) dans chacun des groupes, au prorata de leurs surfaces.

$$Rat_{surf}^{gen,gr} = Rat_{surf}^{CESCAI,gr} = \frac{\sum_{\substack{em-e \in gr \\ em-e \in CESCAI}} A^{gr,em-e}}{\sum_{em-e \in CESCAI} A^{gr,em-e}} \quad (2123)$$

9.17.3.1.8 Demande d'énergie au niveau d'un ballon individuel

Un ensemble de ballons B reçoit une demande d'énergie (la notion d'ensembles de ballons a déjà été abordée avec les CESCI. Nous reprenons cette même approche pour le CESCAI). La demande d'énergie au niveau d'un ballon est égale à l'énergie demandée au niveau de l'ensemble, divisée par le nombre de ballons individuels de l'ensemble nb^{B}_{sto}.

$$Q_{w\_sto\_unit-e} = \frac{\sum_{ds-e \in B} Q_{w\_2nd-e}^{ds-e}(h)}{nb_{sto}^{B}} \quad (2124)$$

9.17.3.1.9 Température au niveau des ballons décentralisés

Pour chaque ensemble de ballons décentralisés, la température de l'eau à fournir est celle du réseau de distribution du groupe connecté au ballon. (Cette température impacte le puisage d'eau chaude dans les ballons décentralisés).

$$\theta_{ecs\_max}^{gen} = \theta_{2nd-e}^{ds-e} \quad (2125)$$

9.17.3.1.10 Température d'eau froide entrant dans le ballon central

Par ailleurs, l'eau entrant dans le ballon central est de l'eau froide :

$$\theta_{entrant}^{centr}(h) = \theta_{cw}(h) \quad (2126)$$

9.17.3.1.11 Température d'eau froide entrant dans les ballons décentralisés

La température de l'eau entrant dans les ballons décentralisés est égale à la température moyenne de la distribution intergroupe.

$$\theta_{entrant}^{dec}(h) = \theta_{moy\_prim-e}(h) \quad (2127)$$

9.17.3.1.12 Emplacement des éléments du CESCAI (en volume chauffé ou hors volume chauffé)

La position du ballon centralisé et sa boucle solaire dépendent de celle de l'assemblage. Les ballons décentralisés seront supposés être toujours en volume chauffé.

9.17.3.1.13 Température ambiante au niveau de l'assemblage

La température ambiante sera utilisée pour le calcul des pertes thermiques de la boucle solaire, de la distribution intergroupe et des ballons. En volume chauffé, elle est supposée constante.

Si Pos_{gen}=0 (hors volume chauffé)

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{ext}(h)$$

(2128)

Si Pos_{gen}=1 (en volume chauffé)

$$\theta_{amb}(h) = 20°C$$

9.17.3.2 *Ordre des calculs*

La première partie concerne les composants centralisés de l'assemblage (boucle solaire, ballon central et distribution intergroupes). La seconde partie consiste à faire les calculs des appoints décentralisés.

Au début du pas de temps, les températures de tous les ballons sont connues.

COMPOSANTS CENTRALISES

12. Première étape : [ballon central] calcul de l'énergie contenue

Cette étape consiste à calculer l'énergie contenue dans le ballon solaire centralisé. Son champ de température au début du pas de temps est connu.

$$Q_{contenue}^{centr} = \rho_w \cdot C_w \cdot \sum_{z=1}^{N_{zone}} \left(V_z \cdot (\theta_{bz}^{centr}(h-1) - \theta_{cw}) \right) \quad (2129)$$

13. Deuxième étape : la (ou les) distribution(s) intergroupe

La distribution intergroupe d'ECS relie le ballon centralisé à des appoints décentralisés. Elle sera supposée bouclée ($type_{reseau\_intergroupe}$=1). Il est possible d'avoir plusieurs distributions intergroupes connectées au ballon central. Les pertes thermiques des distributions intergroupes, calculées à partir de la température de la zone supérieure du ballon central ($\theta_{départ\_prim\text{-}e} = \theta^{centr}_{b4}$), sont déduites de l'énergie totale contenue dans le ballon.

14. Troisième étape : calcul de l'énergie disponible en sortie de distribution intergroupe

A partir de l'énergie contenue dans le ballon centralisé et en retranchant les pertes du réseau de distribution intergroupe (s'il y a plusieurs distributions intergroupe, elles seront, par hypothèse, toutes à la même température), nous calculons l'énergie disponible qu'il est possible de fournir aux ballons décentralisés.

$$Q_{dispo}(h) = max\left(0; Q_{contenue}^{centr}(h) - \sum_{dp-e \leftarrow CESCAI} \left(\phi_{pertes\_vc\_prim-e}^{dp-e}(h) + \phi_{pertes\_hvc\_prim-e}^{dp-e}(h)\right)\right) \quad (2130)$$

Il s'agit désormais de répartir cette énergie dans chaque ensemble de ballons. Le principe est le suivant :

Pour chaque ensemble {B}

$$Q_{dispo\_ens}^{B}(h) = Q_{dispo}(h) \cdot \frac{V_{z_{base}}^{sto} * nb_{sto}^{B}}{\sum_{B \in CESCAI}\left(V_{z_{base}}^{sto} * nb_{sto}^{B}\right)} \quad (2131)$$

COMPOSANTS DECENTRALISES

Cette partie est indépendante de la première. Elle est à la convergence des calculs : d'un côté, on reçoit la demande d'ECS des distributions du groupe (la demande d'énergie d'un ensemble de ballons correspond à celle des distributions du groupe connectées à l'ensemble) ; d'un autre côté, on reçoit un apport d'énergie, fournie par le ballon solaire centralisé et corrigée par les pertes de distribution intergroupe. Les générateurs d'appoint complèteront la demande dans le cas où l'énergie solaire est insuffisante pour couvrir la totalité des besoins.

Les calculs ci-dessous sont faits pour un ballon de chaque ensemble *B*.

15. Quatrième étape : [appoints ballons] volume puisé et énergie requise

La première étape débute par un calcul itératif entre la fiche « gestion-régulation base » et la fiche « ballon de stockage » pour le calcul du volume puisé (à partir de $Q_{w\_sto\_unit\text{-}e}$).

A chaque itération, le volume puisé calculé (à partir de la température de la zone supérieure du ballon de l'itération précédente) est envoyé aux algorithmes du ballon de stockage. Ces derniers déterminent les températures du ballon après un éventuel mélange, mais sans tenir compte des apports de puissance et des pertes du ballon.

A la fin de la boucle itérative, le nouveau champ de températures du ballon après puisage est connu. Le calcul de l'énergie requise nécessaire pour remonter en température le ballon par le générateur de base n'est pas utile dans cet assemblage.

16. Cinquième étape : calcul de l'énergie réellement fournie

Avant de fournir au ballon une certaine quantité d'énergie provenant du réseau intergroupe, il est nécessaire de faire un test sur les températures. L'eau des ballons doit être plus froide que l'eau de la distribution intergroupe.

L'énergie fournie dans un ensemble de ballon s'exprime donc de la façon suivante :

$$Q^{B}_{fou\_ens}(h) = min\left[\begin{matrix} Q^{B}_{dispo\_ens}(h); \\ nb^{B}_{sto} \cdot \rho_w \cdot C_w \cdot max\left(0; \sum_{z=1}^{N_{zone}} \left(V_z \cdot \left(\theta_{moy\_prim-e}(h) - \theta^{déc}_{bz}(Nb_{iter\_vp})\right)\right)\right) \end{matrix}\right] \quad (2132)$$

Pour un ballon individuel appartenant à l'ensemble {B},

$$Q_{fou\_unit}(h) = \frac{Q^{B}_{fou\_ens}(h)}{nb^{B}_{sto}} \quad (2133)$$

17. **Sixième étape : [appoints ballons] calcul des températures**

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

5. La zone $z = 1$ reçoit l'énergie du réseau intergroupe $Q_{fou\_unit}(h)$. Les pertes thermiques sont également comptées.

6. La zone $z = 2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,2} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

7. La zone $z = 3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

8. La zone $z = 4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

Une fois l'énergie reçue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

18. Septième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon

La position de l'appoint dans le ballon dépend du type de ballon. Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir les zones chauffées par l'appoint à la température de consigne.

19. Huitième étape : assemblage générateur pour stockage (appoint)

L'assemblage générateur détermine à partir de l'énergie requise $Q_{req\_sto\_ap}$, de la température moyenne du ballon vue par l'échangeur et des caractéristiques de ce dernier, l'énergie réellement fournie au ballon.

20. Neuvième étape : l'élément de stockage ECS

A cette étape, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint dans la zone z_{ap} sera intégrée au calcul des températures du ballon.

COMPOSANTS CENTRALISES (suite)

21. Dixième étape : le ballon central d'ECS

L'énergie injectée dans les ballons décentralisés est soutirée du ballon centralisé. Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

1. La zone $z = 1$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,1} = 0$. Les pertes ne sont pas comptées.

2. La zone $z = 2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,2} = 0$. Les pertes ne sont pas comptées.

3. La zone $z = 3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3} = 0$. Les pertes ne sont pas comptées.

4. On comptabilise dans la zone supérieure $z = 4$ du ballon centralisé l'énergie totale fournie au réseau de distribution intergroupe $Q_{i,4}$ avec

$$Q_{i,4} = min\left(0; -\left(\sum_{B \in CESCAI} Q^{B}_{fou\_ens}(h) + \sum_{dp-e \leftarrow CESCAI} \left(\varphi^{dp-e}_{pertes\_vc\_prim-e}(h) + \varphi^{dp-e}_{pertes\_hvc\_prim-e}(h)\right)\right)\right) \quad (2134)$$

Les pertes du ballon ne sont pas comptées.

22. Onzième étape : la boucle solaire

La boucle solaire fournit au ballon central la chaleur provenant des capteurs solaires, tant que ce dernier ne dépasse pas sa température maximale.

Le (ou les) échangeur(s) est (sont) intégré(s) au modèle de boucle solaire. Cette dernière reçoit, comme température aval, la température inférieure du ballon centralisé ($\theta^{BS}_{aval}(h) = \theta^{centr}_{b1}(h)$).

La puissance de (ou des) pompe(s) de la boucle solaire sera ajoutée à la consommation des auxiliaires électriques de l'assemblage.

23. Douzième étape : le ballon central d'ECS

Après injection de l'énergie solaire dans le ballon central, il faut recalculer le champ de températures du ballon.

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

1. La boucle solaire est connectée à la zone $z = z^{centr}_{base} = 1$ donc l'entrée du ballon $Q_{i,1}$ reçoit la sortie de la boucle solaire Q_{sol}. Les pertes thermiques sont également comptées.

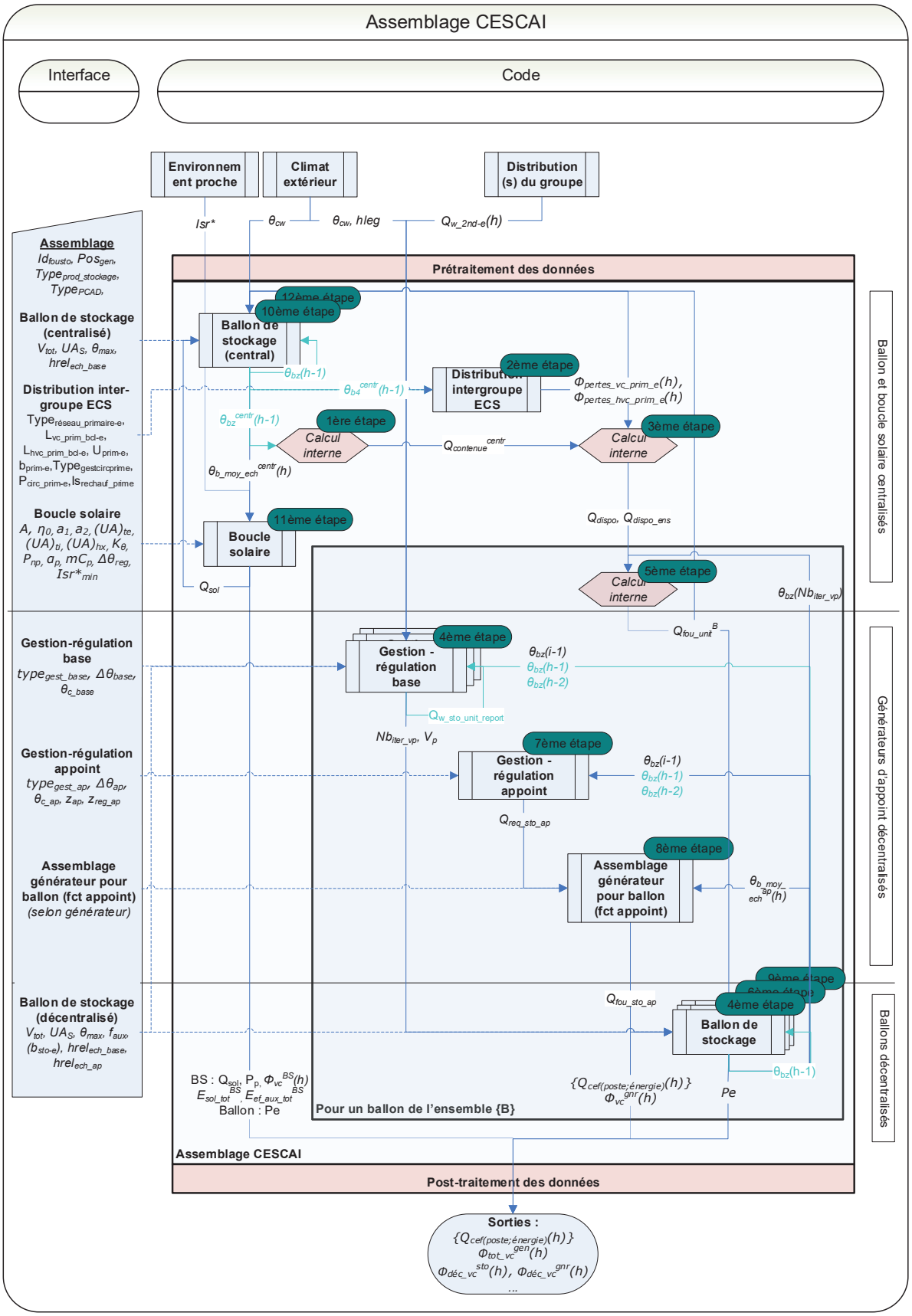
2. La zone $z = 2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,2} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

3. La zone $z = 3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

4. La zone $z = 4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,4} = 0$. Mais les pertes sont comptées.

Le ballon met ensuite à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

9.17.3.3 *L'assemblage de la production Solaire Collective à Appoints individualisés (CESCAI)*



9.17.3.4 *Post-traitement des données*

9.17.3.4.1 Calcul des consommations finales horaires d'ECS

9.17.3.4.1.1 Pour l'assemblage CESCAI

Dans le cas du CESCAI, la consommation en énergie finale est la somme des consommations de tous les générateurs d'appoint (présentées sous forme de matrice) ajoutée à la consommation de la pompe de la boucle solaire (les consommations des auxiliaires de distributions du réseau intergroupe sont comptabilisées dans la fiche algorithme calculs_groupe). Elle s'exprime, à chaque pas de temps, de la façon suivante :

$$\left\{Q^{CESCAI}_{cef(po;energie)}(h)\right\} = \sum_{\{B\}} \left(nb^{B}_{sto} \cdot \left\{Q^{gnr\_ap}_{cef(3;energie)}(h)\right\}\right) + \left\{Q^{BS}_{cef(3;energie)}(h)\right\} \quad (2135)$$

9.17.3.4.1.2 Par groupe

$$\left\{Q^{CESCAI,gr}_{cef(po;energie)}(h)\right\} = \left\{Q^{CESCAI}_{cef(po;energie)}(h)\right\} * Rat^{gr}_{besoins\_sec\_e}(h) \quad (2136)$$

9.17.3.4.2 Calcul des consommations mensuelles et annuelles d'ECS

Les consommations en énergies finale et primaire de l'assemblage CESCAI sont présentées sous forme mensuelles et annuelles, au niveau de l'assemblage et au niveau du groupe.

9.17.3.4.2.1 Pour l'assemblage CESCAI

$$C^{CESCAI}_{ef\_ecs\_m} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} Q^{CESCAI}_{cef(3;en)}(h)$$

$$C^{CESCAI}_{ep\_ecs\_m} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} \left(Q^{CESCAI}_{cef(3;en)}(h) \,.\, Coef_{ep(en)}\right) \quad (2137)$$

$$C^{CESCAI}_{ef\_ecs} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCAI}_{ef\_ecs\_m}$$

$$C^{CESCAI}_{ep\_ecs} = \sum_{mois=1}^{12} C^{CESCAI}_{ep\_ecs\_m} \quad (2138)$$

9.17.3.4.2.2 Par groupe

$$C^{CESCAI,gr}_{ef\_ecs\_m} = \sum_{h\in mois} \sum_{en=10}^{60} Q^{CESCAI,gr}_{cef(3;en)}(h) \quad (2139)$$

$$C_{ep\_ecs\_m}^{CESCAI,gr} = \sum_{h \in mois} \sum_{en=10}^{60} (Q_{cef(3;en)}^{CESCAI,gr}(h) \,.\, Coef_{ep(en)})$$

$$C_{ef\_ecs}^{CESCAI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ef\_ecs\_m}^{CESCAI,gr}$$

$$C_{ep\_ecs}^{CESCAI,gr} = \sum_{mois=1}^{12} C_{ep\_ecs\_m}^{CESCAI,gr} \quad (2140)$$

9.17.3.4.2.3 Consommations en énergie finale et primaire par type d'énergie

Comme pour les générations, les informations qui sortent de l'assemblage CESCAI doivent respecter un certain formalisme.

9.17.3.4.2.3.1 <u>Pour l'assemblage CESCAI</u>

Les consommations par type d'énergie et par CESCAI s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;10)}^{CESCAI}(h) \quad (2141)$$

$$C_{ef\_fod}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;20)}^{CESCAI}(h) \quad (2142)$$

$$C_{ef\_cha}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;30)}^{CESCAI}(h) \quad (2143)$$

$$C_{ef\_boi}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;40)}^{CESCAI}(h) \quad (2144)$$

$$C_{ef\_ele}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;50)}^{CESCAI}(h) \quad (2145)$$

$$C_{ef\_rdc}^{CESCAI} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;60)}^{CESCAI}(h) \quad (2146)$$

$$C_{ep\_gaz}^{CESCAI} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{CESCAI} \quad (2147)$$

$$C_{ep\_fod}^{CESCAI} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{CESCAI} \quad (2148)$$

$$C_{ep\_cha}^{CESCAI} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{CESCAI} \quad (2149)$$

$$C_{ep\_boi}^{CESCAI} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{CESCAI} \quad (2150)$$

$$C_{ep\_ele}^{CESCAI} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{CESCAI} \quad (2151)$$

$$C_{ep\_rdc}^{CESCAI} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{CESCAI} \quad (2152)$$

9.17.3.4.2.3.2 Pour l'assemblage CESCAI et par groupe

Les consommations par type d'énergie et par CESCAI, pour un groupe, s'expriment uniquement sous forme d'un résultat total annuel :

$$C_{ef\_gaz}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;10)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2153)$$

$$C_{ef\_fod}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;20)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2154)$$

$$C_{ef\_cha}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;30)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2155)$$

$$C_{ef\_boi}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;40)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2156)$$

$$C_{ef\_ele}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;50)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2157)$$

$$C_{ef\_rdc}^{CESCAI,gr} = \sum_{h=0}^{8760} Q_{cef(3;60)}^{CESCAI,gr}(h) \quad (2158)$$

$$C_{ep\_gaz}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(10;1)} \times C_{ef\_gaz}^{CESCAI,gr} \quad (2159)$$

$$C_{ep\_fod}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(20;1)} \times C_{ef\_fod}^{CESCAI,gr} \quad (2160)$$

$$C_{ep\_cha}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(30;1)} \times C_{ef\_cha}^{CESCAI,gr} \quad (2161)$$

$$C_{ep\_boi}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(40;1)} \times C_{ef\_boi}^{CESCAI,gr} \quad (2162)$$

$$C_{ep\_ele}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(50;1)} \times C_{ef\_ele}^{CESCAI,gr} \quad (2163)$$

$$C_{ep\_rdc}^{CESCAI,gr} = Coef_{ep(60;1)} \times C_{ef\_rdc}^{CESCAI,gr} \quad (2164)$$

9.17.3.4.3 Energie restante à fournir par les générateurs

Dans le cas de la production d'eau chaude avec stockage, le report d'énergie est géré au niveau du puisage dans le ballon et non, contrairement aux systèmes de production instantanée, au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon (base et appoint).

$$Q_{rest}^{gnr}(h) = 0 \quad (2165)$$

9.17.3.4.4 Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de l'assemblage CESCAI récupérables par l'ambiance concernent les ballons centralisé et décentralisés et les générateurs : boucle solaire commune à plusieurs groupes et appoints (appartenant à un groupe).

9.17.3.4.4.1 Au niveau de l'assemblage CESCAI

La génération centralisée contient la boucle solaire et le ballon centralisé (leurs pertes thermiques vers l'ambiance seront réparties au prorata des groupes desservis dans les algorithmes des pertes récupérables).

$$\Phi_{tot\_vc}^{gen}(h) = \Phi_{vc}^{BS}(h) \quad (2166)$$

$$\Phi_{svc}^{sto,centr}(h) = Pe^{centr}(h) * Is_{sto\_vc} \quad (2167)$$

9.17.3.4.4.2 Au niveau du (des) groupe(s)

Les pertes thermiques des ballons et générateurs d'appoints décentralisés sont directement récupérables par les ambiances du groupe auquel ils appartiennent.

$$\Phi_{déc\_vc}^{sto}(h) = \sum_{sto \in gr} (nb_{sto} * Pe(h)) \quad (2168)$$

$$\Phi_{déc\_vc}^{gnr}(h) = \sum_{gnr \in gr} \left(nb_{sto} * \Phi_{vc}^{gnr}(h)\right) \quad (2169)$$

9.18 C_STO_Gestion-régulation_de_la_Boucle_de_Chauffage_Solaire

9.18.1 INTRODUCTION

Les systèmes solaires combinés comportent une boucle de chauffage, dont le rôle est de transférer de la chaleur solaire au bâtiment, pour ses besoins de chauffage. La boucle de chauffage sera modélisée par ailleurs avec des composants d'émission et de distributions.

La boucle de chauffage n'est présente que dans les assemblages modélisant les systèmes solaires combinés.

Le modèle décrit ci-dessous explicite les algorithmes de gestion-régulation de la boucle de chauffage, c'est-à-dire les conditions de sa mise en route. Les calculs interviennent après le puisage d'ECS dans le ballon de stockage et juste avant celui d'eau chaude pour le chauffage.

9.18.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 297 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de gestion-régulation de la boucle de chauffage.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
GR Génération	$\theta_{bz}(h)$	Températures des zones du ballon à la fin du pas de temps *h*	°C
	$\theta_{bz}(Nb_{iter\_vp})$	Températures des zones du ballon à la fin de la boucle itérative pour le puisage d'ECS	°C
	$Q_{req\_ch}(h)$	Demande de chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$\theta_{ch\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution primaires de chaud connectés à la génération *gen*.	°C
	$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante (calculée au niveau de la génération)	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage *0- Ballon base sans appoint* *1- Ballon base plus appoint intégré* *2- Ballon base plus appoint dans stockage séparé* *3- Ballon base plus appoint séparé instantané* *4-SSC avec appoint chauffage par système indépendant* *5- SSC avec appoint chauffage raccordé à l'assemblage*	Ent.	0	5	-
$\Delta\theta_{reg}^{bcl\_ch}$	Valeur de réglage de la régulation de la boucle de chauffage	K	0	$+\infty$	
z_{ech_ch}	Position de l'échangeur de la boucle de chauffage dans le ballon	-	1	N_{zone}	

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{puisé\_ch\_SSC}(h)$	Chaleur puisée dans le ballon pour assurer la demande d'énergie de chauffage	Wh
$Q_{rest\_ch}(h)$	Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour le chauffage	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité

$Q_{sto\_dispo\_ch\_SSC}(h)$	Energie disponible dans la partie basse du ballon pour assurer tout ou partie de la demande d'énergie en chauffage d'un SSC	Wh
$Q_{puisé\_ch\_SSC\_int}(h)$	Energie intermédiaire de chauffage puisée dans le ballon	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
V_{tot_1}	Volume total d'un ballon	L	*200*
V_{tot_2}	Volume total d'un ballon	L	*2000*
$UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_1})$	Coefficient d'échange de l'échangeur de la boucle de chauffage dans le ballon de stockage de volume $V_{tot\ 1}$	W/K	*1200*
$UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_2})$	Coefficient d'échange de l'échangeur de la boucle de chauffage dans le ballon de stockage de volume $V_{tot\ 2}$	W/K	*12000*

Tableau 297 : Nomenclature du modèle

9.18.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Le modèle de gestion-régulation de la boucle de chauffage intègre :

- l'échangeur de la boucle de chauffage avec le ballon ;

Mais n'intègre pas :

- l'émetteur (plancher chauffant, radiateurs basse température,…) ;
- les réseaux de distribution entre le ballon et le(s) émetteur(s) ;
- les circulateurs de ces réseaux.

9.18.3.1 *Calculs préliminaires*

L'énergie puisée dans le ballon par la boucle de chauffage ne pourra excéder l'énergie contenue dans la partie basse du ballon, et à condition que la température de l'eau chaude du ballon soit supérieure à la température attendue par la génération pour le chauffage.

C'est pourquoi, au préalable, le calcul suivant est nécessaire :

$$Q_{sto\_dispo\_ch\_SSC}(h) = \sum_{z=1}^{z_{ech\_ch}} \left[\rho_w c_w V_z \cdot max\left(\left(\theta_{bz}(Nb_{iter\_vp}) - \theta_{puisage\_ch}(h)\right); 0\right)\right] \quad (2170)$$

Où, pour prendre en compte l'échange de chaleur entre la boucle de chauffage et le ballon,

$$\theta_{puisage_{ch}}(h) = \theta_{ch\_max}^{gen} + \frac{Q_{req\_ch}(h)}{UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot})} \quad (2171)$$

Où $UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot})$ est une interpolation linéaire du coefficient d'échange en fonction du volume.

$$UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot}) = \frac{UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_2}) - UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_1})}{V_{tot\_2} - V_{tot\_1}} \cdot V_{tot} + \frac{UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_1}) * V_{tot\_2} - UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_2}) * V_{tot\_1}}{V_{tot\_2} - V_{tot\_1}} \quad (2172)$$

Avec $\begin{cases} V_{tot\_1} = 200L & UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_1}) = 1200W/K \\ V_{tot\_2} = 2000L & UA_{hx}^{bcl\_ch}(V_{tot\_2}) = 12000W/K \end{cases}$

A un pas de temps *h*, l'énergie maximale que l'on peut puiser dans le ballon s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{puisé\_ch\_SSC\_int} = min\left(Q_{req\_ch}(h); Q_{sto\_dispo\_ch\_SSC}(h)\right) \quad (2173)$$

9.18.3.2 *Gestion-régulation de la boucle de chauffage*

La boucle de chauffage possède deux modes de gestion-régulation. Chacun est propre à un type de SSC.

9.18.3.2.1 Si l'appoint pour le chauffage est un système indépendant (type$_{prod_stockage}$=4)

Lorsque l'appoint se fait par un système indépendant, la boucle de chauffage est en action dès que l'énergie disponible dans le ballon est positive et dès que l'écart de température entre le ballon et l'ambiante est supérieur à un certain seuil :

Autrement dit, si :

$$\left(\theta_{b(z_{ech\_ch})}(h-1) - \theta_{amb}(h)\right) < \Delta\theta_{reg}^{bcl\_ch} \text{ ou } Q_{sto\_dispo\_ch\_SSC}(h) = 0 \quad (2174)$$

Alors :

$$\begin{cases} Q_{puisé\_ch\_SSC}(h) = 0 \\ Q_{rest\_ch}(h) = Q_{req\_ch}(h) \end{cases} \quad (2175)$$

Sinon,

$$\begin{cases} Q_{puisé\_ch\_SSC}(h) = Q_{puisé\_ch\_SSC\_int} \\ Q_{rest_{ch}}(h) = Q_{req_{ch}}(h) - Q_{puisé_{ch_{SSC_{int}}}}(h) \end{cases} \quad (2176)$$

9.18.3.2.2 Si l'appoint pour le chauffage est raccordé à l'assemblage (type$_{prod_stockage}$=5)

Lorsque l'appoint se fait par un générateur instantané assurant aussi l'appoint ECS dans le ballon, la boucle de chauffage est en action dès que l'énergie disponible dans le ballon est égale aux besoins de chauffage Q_{req_ch}(h).

Si :

$$Qreq\_ch_{puisé\_ch\_SSC\_int} < Q_{req_{ch}}(h) < \quad (2177)$$

Alors :

$$\begin{cases} Q_{puisé\_ch\_SSC}(h) = 0 \\ Q_{rest\_ch}(h) = Q_{req\_ch}(h) \end{cases} \quad (2178)$$

Sinon

$$\begin{cases} Q_{puisé\_ch\_SSC}(h) = Q_{req\_ch}(h) \\ Q_{rest\_ch}(h) = 0 \end{cases} \quad (2179)$$

9.19 S2_GEN_Système_Solaire_Combiné_appoint_Chauffage_indépendant

9.19.1 INTRODUCTION

Des modèles de boucle solaire, ballon d'eau chaude, régulation du système de base et d'appoint, et boucle de chauffage ont été décrits dans des « fiches algorithmes ».

On définit ici l'assemblage de ces différents composants élémentaires pour obtenir un modèle de système solaire combiné caractérisé par les éléments suivants : ce SSC est constitué par un seul ballon, découpé en quatre zones

- dans la partie inférieure est présent l'échangeur de la boucle solaire ;
- l'échangeur d'une boucle de chauffage, dans la zone n°2, assure une partie des besoins de chauffage ;
- l'appoint intégré au ballon se situe en zone n°3. Compte tenu de la stratification du ballon, l'appoint ne réchauffe que les zones supérieures, ce qui pourra nécessiter d'avoir d'autres émetteurs/générateurs pour assurer la totalité de la demande de chauffage (mais cela ne fait pas l'objet de cet assemblage) ;
- enfin, en zone supérieure, l'ECS est puisée

Cet assemblage diffère des ballons solaires mixtes (ECS + chauffage) par la présence de l'échangeur de la boucle de chauffage.

9.19.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 298 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de système solaire combiné à appoint chauffage indépendant.

Entrées

	Nom	Description	Unité
Env.proche	Isr^*	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m²
GR Gen.	$Q_{req\_ecs}(h)$	Demande en ECS transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$Q_{req\_ch}(h)$	Demande de chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$\theta_{ecs\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution primaires d'ECS connectés à la génération *gen*.	°C
	$\theta_{ch\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution primaires de chaud connectés à la génération *gen*.	°C
	$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante (calculée au niveau de la génération)	°C
	$id_{fonction}(h)$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le $Q_{req}(h)$ (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multifonctions.	Ent.
Climat ext.	h_{leg}	Heure légale	h
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
	$\theta_e(h)$	Température de l'air extérieur *(+voir fiches algorithme de l'assemblage)*	°C

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{age\ cef}^{assembl}(h)\}$	Matrice de consommation horaire en énergie finale de l'assemblage	Wh
$\Phi_{vc}^{sto}(h)$	Pertes thermiques du ballon de stockage vers l'ambiance.	Wh
$\Phi_{vc}^{BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques du générateur d'appoint vers l'ambiance.	Wh
$Q_{rest\_ch}(h)$	Demande de chauffage non-assurée par le ballon	Wh
$E_{sol\_tot}^{BS}$	Energie totale annuelle cumulée transmise au ballon	Wh/an
$E_{BS}^{ef\_aux\_tot}$	Energie totale annuel cumulée consommée par la pompe de la boucle solaire.	Wh/an
Q_{sol}	Energie transférée par la boucle solaire à l'échangeur	Wh
$nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}$	Nombre d'heures consécutives pendant lesquelles le ballon n'a pas atteint sa température de consigne.	-

Paramètres intrinsèques de l'assemblage

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	(+voir fiches algorithme de l'assemblage)				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$nb_{assembl}$	Nombre d'assemblages « SSC appoint indépendant » identiques à considérer au niveau de la génération (*=1 dans cet assemblage*)	-	1	+∞	
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage: *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent.	1	5	-
$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage *0- Ballon base sans appoint* *1- Ballon base plus appoint intégré* *2- Ballon base plus appoint dans stockage séparé* *3- Ballon base plus appoint séparé instantané* *4-SSC avec appoint chauffage par système indépendant* *5- SSC avec appoint chauffage raccordé à l'assemblage*	Ent.	0	5	-
Id_{pos_gen}	Position de la génération : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.* *(Voir fiches algorithmes de l'assemblage)*	Ent	0	1	

Variables internes

Nom	Description	Unité
E(i,j)	Matrice de la base canonique (tous les coefficients sont nuls sauf le coefficient (i,j) qui vaut 1	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

Tableau 298 : Nomenclature des différentes variables du modèle de système solaire combiné avec appoint indépendant pour le chauffage

9.19.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Ce paragraphe a pour objectif de préparer, à partir des informations de puissance et de température à fournir aux réseaux de distributions d'ECS et de chauffage (compilées par la gestion-régulation de la génération), le jeu de données d'entrées nécessaire au modèle du système solaire combiné à appoint intégré. L'ordre des calculs est présenté ci-dessous.

Les données d'entrée sont :

1. Les informations issues de la gestion-régulation de la génération
2. Les aspects d'irradiance de la boucle solaire décrit par *Isr** et K_{θ}.
3. Des conditions extérieures à l'assemblage qui influent sur le ballon.

Au début de pas de temps, le champ de températures du ballon à la fin du pas de temps précédent est connu. L'ECS est prioritaire sur le chauffage.

9.19.3.1 ***Prétraitement des données***

Ce paragraphe consiste à évaluer des paramètres d'intégration (propres à l'assemblage) et à calculer des données d'entrée des fiches constituant l'assemblage.

9.19.3.1.1 Type de production

Dans cet assemblage, si l'appoint, chauffant les zones supérieures, est intégré au ballon, celui pour le chauffage est indépendant.

$$Type_{prod\_sto}=4 \qquad (2180)$$

9.19.3.1.2 Fonction de l'assemblage

L'assemblage « SSC à appoint intégré » ne fonctionne par définition qu'en mode mixte. Par contre, le générateur d'appoint fonctionne en mode ECS seule.

$$Id_{fousto}= Id_{fougen}^{base}=4 \qquad Id_{fougen}^{ap}=3 \qquad (2181)$$

9.19.3.1.3 Position de l'assemblage

Le positionnement du ballon (il en va de même pour les générateurs de base et d'appoint) est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

9.19.3.1.4 Position de la boucle solaire

Par hypothèse, l'échangeur de la boucle solaire se situe dans la zone inférieure du ballon :

$$z_{base}=1 \qquad (2182)$$

9.19.3.1.5 Position de la boucle de chauffage

Par hypothèse, l'échangeur de la boucle de chauffage se situe dans la zone n°2 du ballon :

$$z_{ech\_ch}=2 \quad (2183)$$

9.19.3.1.6 Position du générateur d'appoint

Par hypothèse, l'échangeur du générateur d'appoint (et sa sonde de température) se situe dans la zone n°3 du ballon :

$$z_{ap}= z_{reg\_ap}=3 \quad (2184)$$

9.19.3.1.7 Température de consigne du ballon

Par convention, la température de consigne du ballon est de 55°C.

$$\theta_{c\_ap}=55\ °C \quad (2185)$$

Si le ballon n'atteint pas, au moins une fois sur 168h, sa température de consigne (θ_{c_ap}), le moteur lance l'alerte suivante : « Sur les 168 dernières heures, le ballon n'a jamais atteint sa température de consigne ».

Initialisation : $nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = 0$

Si$\theta_{b4}(h) < \theta_{c_ap}(h)$

Sinon

$$nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h-1) + 1 \quad (2186)$$

$$nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = 0$$

Si $nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) > 168$, le moteur lance l'alerte.

9.19.3.1.8 Demande d'énergie

Par hypothèse, il n'est possible d'associer à un objet « SSC avec appoint chauffage indépendant » qu'un seul assemblage ($nb_{assembl}$=1). Pour le chauffage et pour l'ECS, on pose :

$$Q_{w\_sto\_unit}(h)=Q_{req}(h) \quad (2187)$$

9.19.3.1.9 Température d'eau entrant dans le ballon

Par ailleurs, l'eau entrant dans le ballon est de l'eau froide :

$$\theta_{entrant}(h)=\theta_{cw}(h) \quad (2188)$$

9.19.3.2 *Ordre des calculs*

1. **La première étape : volume puisé d'ECS**

La première étape débute par un calcul itératif entre la fiche « gestion-régulation base » et la fiche « ballon de stockage » pour le calcul du volume puisé.

A chaque itération, le volume puisé calculé (à partir de la température de la zone supérieure du ballon de l'itération précédente) est envoyé aux algorithmes du ballon de stockage. Ces derniers déterminent les températures du ballon après un éventuel mélange, mais sans tenir compte des apports de puissance et des pertes du ballon.

A la fin de la boucle itérative, on connait le champ de température du ballon après le puisage d'ECS.

2. Deuxième étape : gestion-régulation de la boucle de chauffage

Après le puisage de l'ECS, on puise dans le ballon l'énergie nécessaire pour assurer tout ou partie de la demande d'énergie de chauffage.

Les algorithmes déterminent, selon les conditions de gestion-régulation, l'énergie fournie du ballon à la boucle de chauffage et l'énergie restante à fournir.

3. Troisième étape : l'élément de stockage

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit (au cours de cette itération, les pertes ne sont pas comptées) :

1. La zone $z=1$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,1}=0$.
2. La zone $z=2$ du ballon perd la chaleur spécifique au chauffage : $Q_{i,2}=-Q_{puisé\_SSC\_ch}(h)$. Les pertes sont nulles.
3. La zone $z=3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3}=0$.
4. La zone $z=4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4}=0$.

Une fois l'énergie reçue et/ou perdue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

Note : dans cet assemblage, la température moyenne vue par l'échangeur est la demi-somme de la température du pas de temps précédent et de la température après puisage du volume d'ECS et après extraction de la chaleur pour le chauffage.

4. Quatrième étape : calculs de la boucle solaire

A partir du rayonnement solaire, on calcule l'énergie solaire qui va être injectée dans le ballon (zone z_{base}).

5. Cinquième étape : l'élément de stockage

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

1. La zone $z=1$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,1}=Q_{fou\_sto\_base}(h)=Q_{sol}(h)$. Mais les pertes sont comptées.
2. La zone $z=2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,2}=0$. Mais les pertes sont comptées.
3. La zone $z=3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,3}=0$. Mais les pertes sont comptées.
4. La zone $z=4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4}=0$. Mais les pertes sont comptées.

Une fois l'énergie reçue et/ou perdue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

6. Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon

L'échangeur de l'appoint dans le ballon est placé, pour cet assemblage, dans la zone n°3 du ballon.

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir les zones chauffées par l'appoint à la température de consigne.

7. Septième étape : assemblage générateur pour stockage (appoint)

L'assemblage générateur détermine à partir de l'énergie requise $Q_{req\_sto\_ap}(h)$, de la température moyenne du ballon vue par l'échangeur et des caractéristiques de ce dernier, l'énergie réellement fournie au ballon $Q_{fou\_sto\_ap}(h)$.

8. Huitième étape : l'élément de stockage

A cette étape, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint dans la zone z_{ap} sera intégrée au calcul des températures du ballon.

9.19.3.3 *L'assemblage du SSC avec appoint chauffage indépendant*

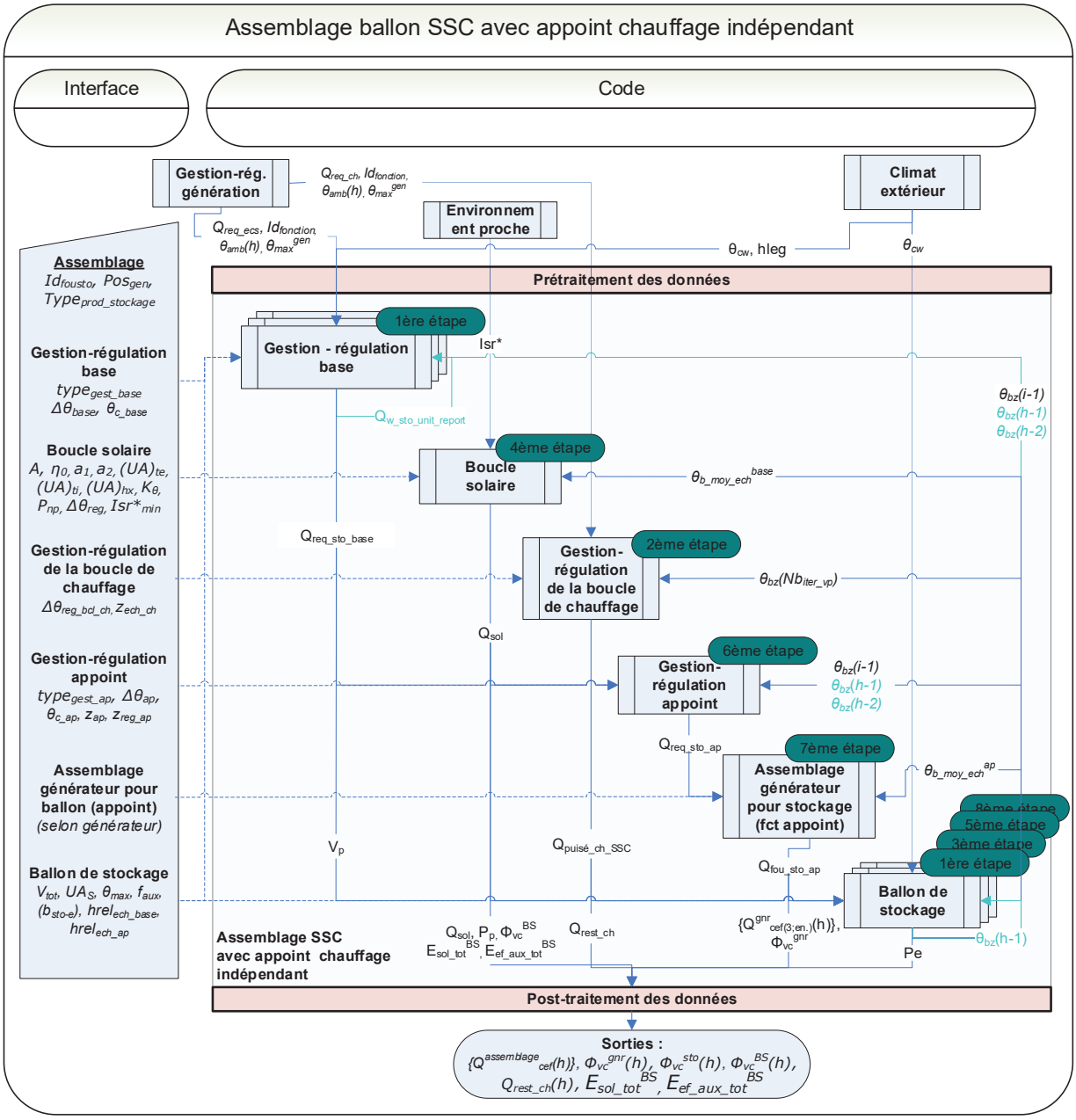


Figure 203 : schéma d'assemblage du modèle de système solaire combiné avec appoint indépendant pour le chauffage

9.19.3.4 *Traitement des données de sortie*

La simulation calcule l'énergie consommée par l'assemblage. Cette énergie vient du système d'appoint et de la pompe de la boucle solaire.

9.19.3.4.1 Calcul des consommations d'ECS

Dans le cas du SSC avec appoint indépendant pour le chauffage, la consommation en énergie finale s'exprime sous forme de matrice, de la façon suivante :

$$\left\{Q^{assemblage}_{cef\,(poste;Idengen)}(h)\right\} = nb_{assembl} * \left(\begin{array}{l} \left\{Q^{gnr\_ap}_{cef\,(3;Idengen)}(h)\right\} \\ +P_p(h) * \dfrac{Q_{req\_ch}(h) \cdot \left\{E_{(1;50)}\right\} + Q_{req\_ecs}(h) \cdot \left\{E_{(3;50)}\right\}}{Q_{req\_ch}(h) + Q_{req\_ecs}(h)} \end{array} \right) \quad (2189)$$

Note : l'équation ci-dessus intègre et remplace la matrice de sortie de la boucle solaire.

Note 2 : par hypothèse, toutes les consommations du générateur d'appoint sont attribuées à l'ECS.

Note 3 : De plus, si les deux $Q_{req}(h)$ sont nuls, les consommations de pompe solaire sont reportées sur l'ECS.

9.19.3.4.2 Energie restante à fournir par le générateur d'appoint

Dans le cas du SSC à appoint indépendant pour le chauffage, le report d'énergie est géré au niveau du puisage dans le ballon et non au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon.

$$Q^{gnr\_ap}_{rest}(h) = 0 \quad (2190)$$

9.19.3.4.3 Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de stockage, récupérables par l'ambiance si l'élément de stockage est en volume chauffé, s'écrivent (avec $nb_{assembl}$=1) :

$$\Phi^{sto}_{vc}(h) = (nb_{assembl} * Pe(h)) * Id_{pos\_gen} \quad (2191)$$

A ces pertes de stockage s'ajoutent les éventuelles pertes en volume chauffé du générateur d'appoint $\Phi_{vc}^{gnr}(h)$ issues de la fiche algorithme « Assemblage générateur pour ballon»,

$$\Phi^{gnr}_{vc}(h) \leftarrow \left(nb_{assembl} * \Phi^{gnr}_{vc}(h)\right) \quad (2192)$$

ainsi que les pertes de la boucle solaire en volume chauffé,

$$\Phi^{BS}_{vc}(h) \leftarrow (nb_{assembl} * \Phi^{BS}_{vc}(h)) \quad (2193)$$

9.20 S2_GEN_Système_Solaire_Combiné_appoint_chauffage raccordé

9.20.1 INTRODUCTION

Des modèles de boucle solaire, ballon d'eau chaude, régulation du système d'appoint et boucle de chauffage ont été décrits dans des « fiches algorithmes ».

On définit ici l'assemblage de ces différents composants élémentaires pour obtenir un modèle de système solaire combiné caractérisé par les éléments suivants : ce SSC est constitué par un seul ballon, découpé en quatre zones

- dans la partie inférieure est présent l'échangeur de la boucle solaire ;
- l'échangeur d'une boucle de chauffage, dans la zone n°2, assure une partie des besoins de chauffage ;
- l'appoint intégré au ballon se situe en zone n°3. Ce générateur d'appoint assure simultanément l'appoint pour l'ECS en réchauffant le ballon mais aussi l'appoint pour le chauffage sur le principe d'un appoint séparé instantané. La priorité est donnée à l'ECS ;
- enfin, en zone supérieure, l'ECS est puisée

Cet assemblage diffère de l'assemblage « ballon avec appoint séparé instantané » en mode mixte (ECS + chauffage) par la présence de l'échangeur de la boucle de chauffage.

9.20.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 299 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de système solaire combiné à appoint pour le chauffage non indépendant.

Entrées

	Nom	Description	Unité
Liv. proc.	Isr^*	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m²
GR Gen.	$Q_{req\_ecs}(h)$	Demande en ECS transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$Q_{req\_ch}(h)$	Demande de chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
	$\theta_{ecs\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution primaires d'ECS connectés à la génération *gen*.	°C
	$\theta_{ch\_max}^{gen}$	Température maximale des réseaux de distribution primaires de chaud connectés à la génération *gen*.	°C
	$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante (calculée au niveau de la génération)	°C
	$\theta_{wm\_ch}^{gen}$	Température de fonctionnement des générateurs instantanés de chauffage	°C
	$id_{fonction}(h)$	Indicateur de fonction du générateur accompagnant le $Q_{req}(h)$ (*1 : chauffage, 2: refroidissement, 3: ECS*), pour les générateurs multifonctions.	Ent.
Clima t ext.	h_{leg}	Heure légale	h
	$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide	°C
	$\theta_e(h)$	Température de l'air extérieur *(+voir fiches algorithme de l'assemblage)*	°C

Sorties

Nom	Description	Unité
$\{Q_{cef}^{assemblage}(h)\}$	Matrice de consommation horaire en énergie finale de l'assemblage	Wh
$\Phi_{vc}^{sto}(h)$	Pertes thermiques du ballon de stockage vers l'ambiance.	Wh
$\Phi_{vc}^{BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
$\Phi_{vc}^{gnr}(h)$	Pertes thermiques du générateur d'appoint vers l'ambiance.	Wh
$Q_{rest\_ch}(h)$	Demande de chauffage non-assurée par le ballon	Wh
$E_{sol\_tot}^{BS}$	Energie totale annuelle cumulée transmise au ballon	Wh/an
$E_{ef\_aux\_tot}^{BS}$	Energie totale annuel cumulée consommée par la pompe de la boucle solaire.	Wh/an
Q_{sol}	Energie transférée par la boucle solaire à l'échangeur	Wh
$nbh_{temp\_sto\_insuff}^{ap}$	Nombre d'heures consécutives pendant lesquelles le ballon n'a pas atteint sa température de consigne.	-

Paramètres intrinsèques de l'assemblage

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
	(+voir fiches algorithme de l'assemblage)				

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$nb_{assembl}$	Nombre d'assemblages « SSC appoint indépendant » identiques à considérer au niveau de la génération (*=1 dans cet assemblage*)	-	1	+∞	
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage: *- 1 : Chauffage,* *- 2 : Refroidissement,* *- 3 : ECS,* *- 4 : Chauffage et ECS,* *- 5 : Chauffage et refroidissement.*	Ent.	1	5	-
$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage *0- Ballon base sans appoint* *1- Ballon base plus appoint intégré* *2- Ballon base plus appoint dans stockage séparé* *3- Ballon base plus appoint séparé instantané* *4-SSC avec appoint chauffage par système indépendant* *5- SSC avec appoint chauffage raccordé à l'assemblage*	Ent.	0	5	-
Id_{pos_gen}	Position de la génération : *1 : En volume chauffé,* *0 : Hors volume chauffé.* *(Voir fiches algorithmes de l'assemblage)*	Ent	0	1	

Variables internes

Nom	Description	Unité
E(i,j)	Matrice de la base canonique (tous les coefficients sont nuls sauf le coefficient (i,j) qui vaut 1	-

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

Tableau 299 : Nomenclature des différentes variables du modèle de système solaire combiné à appoint pour le chauffage raccordé à l'assemblage

9.20.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

Ce paragraphe a pour objectif de préparer, à partir des informations de puissance et de température à fournir aux réseaux de distributions d'ECS et de chauffage (compilées par la gestion-régulation de la génération), le jeu de données d'entrées nécessaire au modèle du système solaire combiné à appoint intégré. L'ordre des calculs est présenté ci-dessous.

Les données d'entrée sont :

1. Les informations issues de la gestion-régulation de la génération
2. Les aspects d'irradiance de la boucle solaire décrit par *Isr** et K_{θ}.
3. Des conditions extérieures à l'assemblage qui influent sur le ballon.

Au début du pas de temps, le champ de températures du ballon à la fin du pas de temps précédent est connu. L'ECS est prioritaire sur le chauffage.

9.20.3.1 ***Prétraitement des données d'entrée***

Ce paragraphe consiste à évaluer des paramètres d'intégration (propres à l'assemblage) et à calculer des données d'entrée des fiches constituant l'assemblage.

9.20.3.1.1 Type de production

Dans cet assemblage, l'appoint, chauffant les zones supérieures du ballon, est utilisé en aval de ce dernier pour compléter l'énergie de chauffage puisée dans le ballon.

$$Type_{prod\_stockage}=5 \quad (2194)$$

9.20.3.1.2 Fonction de l'assemblage

L'assemblage ne fonctionne par définition qu'en mode mixte

$$Id_{fousto}= Id_{fougen}=4 \quad (2195)$$

9.20.3.1.3 Position de l'assemblage

Le positionnement du ballon (il en va de même pour les générateurs de base et d'appoint) est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

9.20.3.1.4 Position de la boucle solaire

Par hypothèse, l'échangeur de la boucle solaire se situe dans la zone inférieure du ballon :

$$z_{base}=1 \quad (2196)$$

9.20.3.1.5 Position de la boucle de chauffage

Par hypothèse, l'échangeur de la boucle de chauffage se situe dans la zone n°2 du ballon :

$$z_{ech\_ch}=2 \quad (2197)$$

9.20.3.1.6 Position du générateur d'appoint dans le ballon

Par hypothèse, l'échangeur du générateur d'appoint (et sa sonde de température) se situe dans la zone n°3 du ballon :

$$z_{ap} = z_{reg\_ap} = 3 \quad (2198)$$

9.20.3.1.7 Température de consigne du ballon

Par convention, la température de consigne du ballon est de 55°C.

$$\theta_{c\_ap} = 55\ °C \quad (2199)$$

Si le ballon n'atteint pas, au moins une fois sur 168h, sa température de consigne (θ_{c_ap}), le moteur lance l'alerte suivante : « Sur les 168 dernières heures, le ballon n'a jamais atteint sa température de consigne ».

Initialisation : $nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = 0$

Si $\theta_{b4}(h) < \theta_{c\_ap}(h)$

$$nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h-1) + 1$$

Sinon (2200)

$$nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) = 0$$

Si $nbh^{ap}_{temp\_sto\_insuff}(h) > 168$, le moteur lance l'alerte.

9.20.3.1.8 Demande d'énergie

Par hypothèse, il n'est possible d'associer à un objet « SSC avec appoint chauffage raccordé » qu'un seul assemblage ($nb_{assembl}=1$). Pour le chauffage et pour l'ECS, on pose :

$$Q_{w\_sto\_unit}(h) = Q_{req}(h) \quad (2201)$$

9.20.3.1.9 Température d'eau entrant dans le ballon

Par ailleurs, l'eau entrant dans le ballon est de l'eau froide :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{cw}(h) \quad (2202)$$

9.20.3.2 *Ordre des calculs*

1. La première étape : volume puisé d'ECS

La première étape débute par un calcul itératif entre la fiche « gestion-régulation base » et la fiche « ballon de stockage » pour le calcul du volume puisé.

A chaque itération, le volume puisé calculé (à partir de la température de la zone supérieure du ballon de l'itération précédente) est envoyé aux algorithmes du ballon de stockage. Ces derniers déterminent les températures du ballon après un éventuel mélange, mais sans tenir compte des apports de puissance et des pertes du ballon.

A la fin de la boucle itérative, on connait le champ de température du ballon après le puisage d'ECS.

2. Deuxième étape : gestion-régulation de la boucle de chauffage

L'énergie nécessaire pour assurer tout ou partie de la demande d'énergie de chauffage est alors puisée dans le ballon.

Les algorithmes déterminent, selon les conditions de gestion-régulation, l'énergie fournie du ballon à la boucle de chauffage et l'énergie restante à fournir par l'appoint.

3. Troisième étape : l'élément de stockage

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit (au cours de cette itération, les pertes ne sont pas comptées) :

1. La zone $z=1$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,1}=0$.
2. La zone $z=2$ du ballon perd la chaleur spécifique au chauffage : $Q_{i,2}=-Q_{puisé\_SSC\_ch}(h)$ $Q_{i,2}=-Q_{puisé\_SSC\_ch}(h)$. Les pertes sont nulles.
3. La zone $z=3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,3}=0$.
4. La zone $z=4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4}=0$.

Une fois l'énergie reçue et/ou perdue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

Note : dans cet assemblage, la température moyenne vue par l'échangeur est la demi-somme de la température du pas de temps précédent et de la température après puisage du volume d'ECS et après extraction de l'énergie de chauffage.

4. Quatrième étape : calculs de la boucle solaire

A partir du rayonnement solaire, on calcule l'énergie solaire qui va être injectée dans le ballon (zone z_{base}).

5. Cinquième étape : l'élément de stockage

Le ballon de stockage est décrit par quatre zones. Chaque zone z du ballon reçoit une énergie $Q_{i,z}$ comme suit :

1. La zone $z=1$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,1}=Q_{fou\_sto\_base}(h)=Q_{sol}(h)$. Mais les pertes sont comptées.
2. La zone $z=2$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique: $Q_{i,2}=0$. Mais les pertes sont comptées.
3. La zone $z=3$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,3}=0$. Mais les pertes sont comptées.
4. La zone $z=4$ du ballon ne reçoit ni ne donne aucune énergie spécifique : $Q_{i,4}=0$. Mais les pertes sont comptées.

Une fois l'énergie reçue et/ou perdue, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

6. Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon

L'échangeur de l'appoint dans le ballon est placé, pour cet assemblage, dans la zone n°3 du ballon.

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir les zones chauffées par l'appoint à la température de consigne.

7. Septième étape : assemblage générateur pour stockage (appoint)

L'assemblage générateur est appelé une première fois pour déterminer, à partir de l'énergie requise $Q_{req\_sto\_ap}(h)$, de la température moyenne du ballon vue par l'échangeur et des caractéristiques de ce dernier, l'énergie réellement fournie au ballon $Q_{fou\_sto\_ap}(h)$.

Pour le poste ECS, les reports sont gérés par le ballon (cf. Q_{w_report}) :

$$Q_{rest\_ecs}(h) = 0 \quad (2203)$$

8. Huitième étape : l'élément de stockage

A cette étape, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint dans la zone z_{ap} sera intégrée au calcul des températures du ballon.

9. Neuvième étape : générateur pour stockage (appoint)

S'il reste une énergie à fournir pour le chauffage (calculée lors de la deuxième étape), le générateur d'appoint est appelé une seconde fois, en posant

$$Q_{req}(h) = Q_{rest\_ch}(h) \quad (2204)$$

Lors de cet appel, la température aval considérée est la température de fonctionnement des générateurs instantanés de chauffage calculée au niveau de la génération $\theta_{wm\_ch}^{gen}$. Les consommations calculées seront attribuées au chauffage.

9.20.3.3 *L'assemblage du SSC avec appoint chauffage raccordé à l'assemblage*

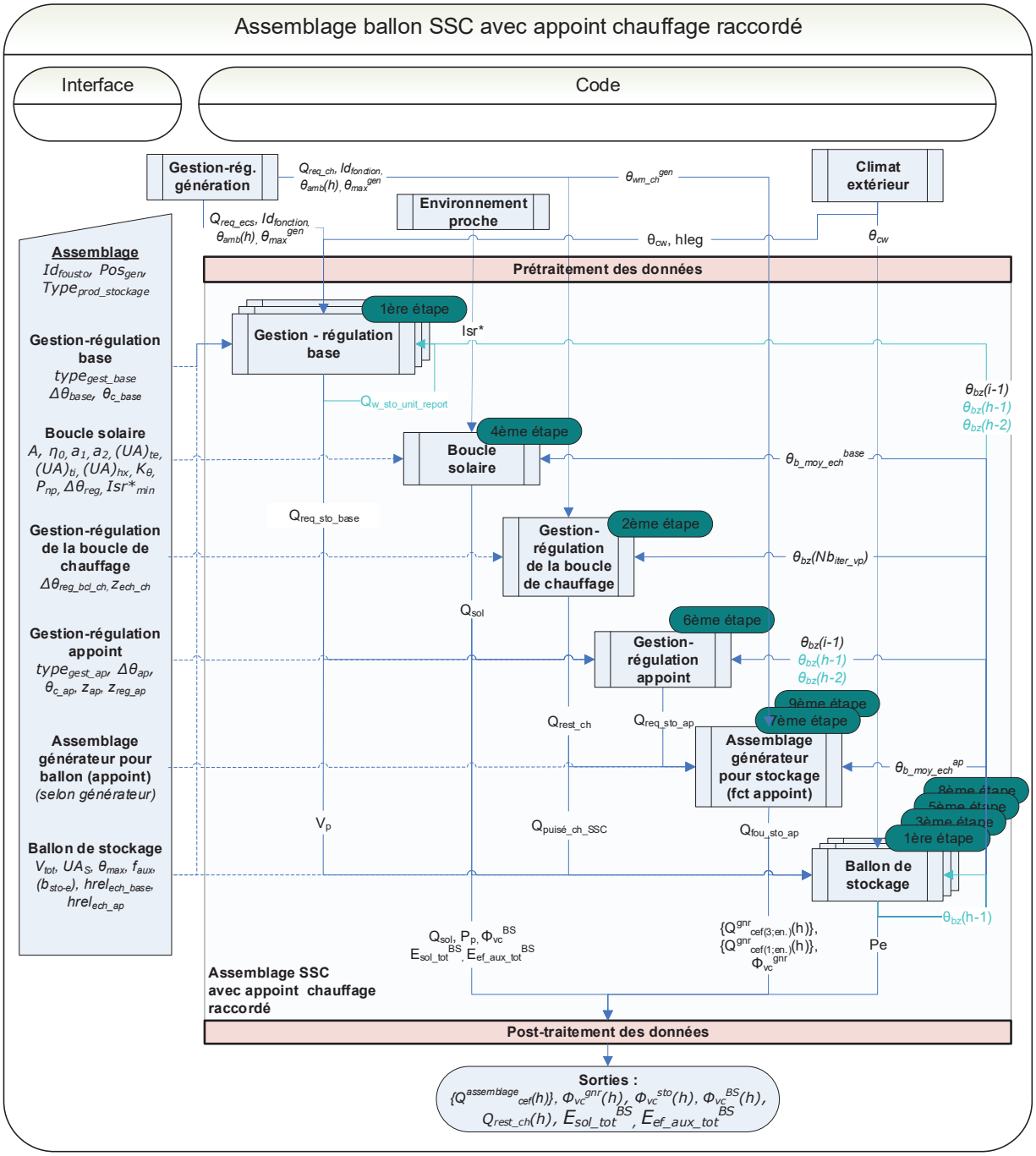


Figure 204 : schéma d'assemblage du modèle de système solaire combiné avec appoint pour le chauffage raccordé à l'assemblage

9.20.3.4 *Traitement des données de sortie*

La simulation calcule l'énergie consommée par l'assemblage. Cette énergie vient du système d'appoint et de la pompe de la boucle solaire.

9.20.3.4.1 Calcul des consommations d'ECS

Dans le cas du SSC avec appoint pour le chauffage raccordé à l'assemblage, la consommation en énergie finale s'exprime, sous forme de matrice, de la façon suivante :

$$\left\{Q^{assemblage}_{cef(poste;Idengen)}(h)\right\} = nb_{assembl} * \left(\begin{matrix} \left\{Q^{gnr\_ap}_{cef(po;Idengen)}(h)\right\} \\ +P_p(h) * \dfrac{Q_{req\_ch}(h) \cdot \{E_{(1;50)}\} + Q_{req\_ecs}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\}}{Q_{req\_ch}(h) + Q_{req\_ecs}(h)} \end{matrix} \right) \quad (2205)$$

Note : l'équation ci-dessus intègre et remplace la matrice de sortie de la boucle solaire.

Note 2 : Par hypothèse, si les deux $Q_{req}(h)$ sont nuls, les consommations de pompe solaire sont reportées sur l'ECS.

9.20.3.4.2 Energie restante à fournir par le générateur d'appoint

Dans le cas du SSC à appoint pour le chauffage raccordé à l'assemblage, le report d'énergie pour l'ECS est géré au niveau du puisage dans le ballon et non au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon.

$$Q^{gnr\_ap}_{rest\_ecs}(h) = 0 \quad (2206)$$

Pour le chauffage, il est possible d'avoir plusieurs générateurs en cascade.

9.20.3.4.3 Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de stockage, récupérables par l'ambiance si l'élément de stockage est en volume chauffé, s'écrivent (avec $nb_{assembl}$=1):

$$\Phi^{sto}_{vc}(h) = (nb_{assembl} * Pe(h)) * Id_{pos\_gen} \quad (2207)$$

A ces pertes de stockage s'ajoutent les éventuelles pertes en volume chauffé du générateur d'appoint $\Phi_{vc}^{gnr}(h)$ issues de la fiche algorithme « Assemblage générateur pour ballon»,

$$\Phi^{gnr}_{vc}(h) \leftarrow \left(nb_{assembl} * \Phi^{gnr}_{vc}(h)\right) \quad (2208)$$

ainsi que les pertes de la boucle solaire en volume chauffé,

$$\Phi^{BS}_{vc}(h) \leftarrow (nb_{assembl} * \Phi^{BS}_{vc}(h)) \quad (2209)$$

9.21 C_BAT_Récupérateur de chaleur sur les eaux grises

9.21.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme décrit la modélisation de récupérateurs de chaleur sur les eaux grises. Un récupérateur de chaleur est un échangeur thermique direct qui permet de récupérer une partie de l'énergie thermique des eaux chaudes sanitaires évacuées, appelées « eaux grises », afin de préchauffer l'eau froide arrivant de l'extérieur et ainsi réduire les besoins et consommations d'eau chaude sanitaire (ECS).

Les récupérateurs de chaleur sur les eaux grises peuvent se situer à différent endroits du circuit d'eau froide. Ces configurations sont décrites dans le chapitre Émetteur Équivalent .

Pour être pris en compte, un récupérateur de chaleur doit être conçu de manière à ne pas nécessiter de nettoyage, ou à permettre un nettoyage manuel ou automatique aisé de l'échangeur, afin de ne pas dégrader significativement son rendement.

La Figure 205 résume la modélisation informatique des récupérateurs de chaleur sur les eaux grises selon les différentes configurations possibles. Cette description est détaillée au sein des différents modèles présentés par la suite.

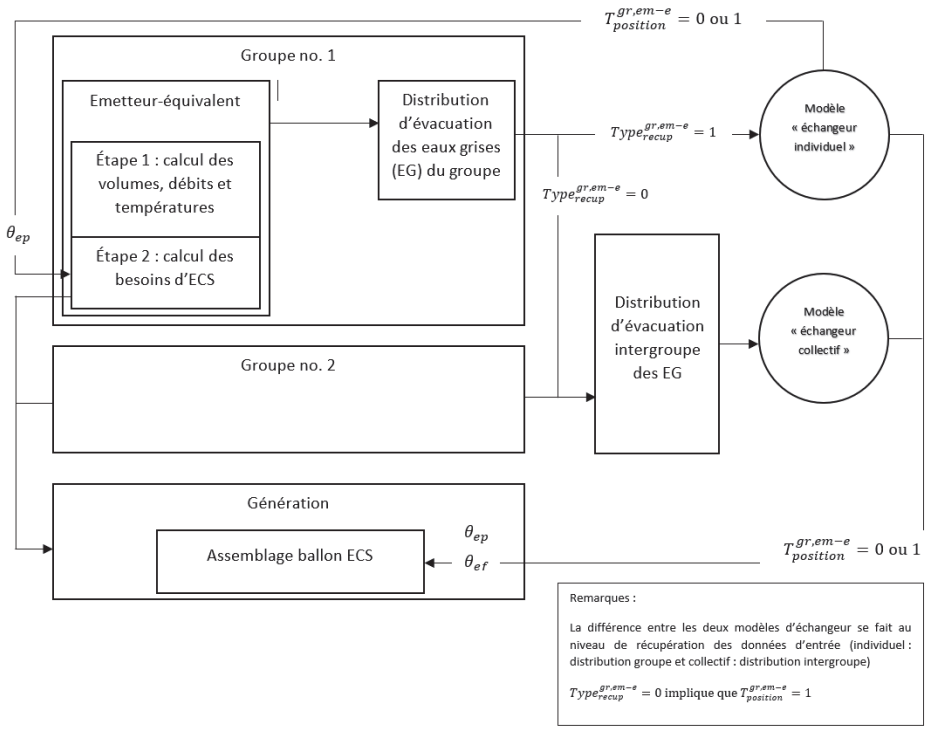


Figure 205: Structure informatique du modèle de récupérateur de chaleur sur les eaux grises

9.21.2 ÉMETTEUR ÉQUIVALENT

9.21.2.1 ***Introduction***

Le modèle émetteur-équivalent décrit les équipements et l'installation éventuelle d'un ou plusieurs récupérateurs de chaleurs sur les eaux grises. Lors de la création d'un émetteur équivalent (au niveau du groupe), l'utilisateur doit confirmer si l'émetteur équivalent contient un système de récupération de chaleur sur les eaux grises :

- $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent) ;
- $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (présence d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises).

Dans le cas où $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (présence d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises), la configuration du système de récupération de chaleur doit être renseignée (au niveau du projet pour la récupération collective). Deux configurations sont possibles :

- $Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (récupération de chaleur « collective – intergroupe ») ;
- $Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (récupération de chaleur « individuelle - groupe »).

La récupération de chaleur « collective - intergroupe » ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$) signifie que les eaux grises récupérables issues des différents émetteurs équivalents de groupes distincts sont redirigées vers un même récupérateur de chaleur (récupérateur central). Les eaux grises sont donc préalablement mélangées (au niveau de la distribution intergroupe définie au niveau du projet) avant leur passage dans l'échangeur de chaleur central.

La récupération de chaleur « individuelle - groupe » ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$) signifie que chaque émetteur équivalent est relié à un échangeur de chaleur situé soit au niveau de l'évacuation (par exemple, un récupérateur de chaleur sous le bac à douche) soit à proximité dans le cas de récupérateurs de chaleur partagés entre appareils sanitaires proches. Dans cette configuration, tout se déroule au sein du groupe (dans l'émetteur équivalent).

Ces deux configurations peuvent prendre différentes formes en fonction de la position du récupérateur de chaleur unitaire (définie au niveau de l'émetteur équivalent). La position du récupérateur de chaleur unitaire vis-à-vis du circuit d'eau froide doit donc également être renseignée par l'utilisateur. Trois installations sont possibles :

- $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ (récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS) ;
- $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (récupérateur de chaleur situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide du ballon d'ECS) ;
- $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ (récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs).

Si le récupérateur de chaleur est situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS ($T_{position}^{gr,em-e} = 0$), la totalité de l'eau froide appelée par ces derniers circule à travers le récupérateur de chaleur. L'eau froide préchauffée utilisée au niveau des mitigeurs permet ainsi de réduire les besoins d'ECS pour atteindre la température de consigne de 40°C (eau mitigée). Le reste de l'eau froide préchauffée est utilisée pour remplacer le volume d'eau extrait au niveau du ballon d'ECS.

Si le récupérateur de chaleur est situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide du ballon d'ECS ($T_{position}^{gr,em-e} = 1$), l'eau froide préchauffée est alors entièrement utilisée comme source d'eau froide du ballon d'ECS. Les mitigeurs n'ont alors pas accès à l'eau froide préchauffée.

Si le récupérateur de chaleur est situé uniquement en amont des mitigeurs, l'eau froide préchauffée est utilisée seulement par les mitigeurs ($T_{position}^{gr,em-e} = 2$). L'eau froide du ballon d'ECS n'est alors pas préchauffée.

Une configuration dépend aussi du nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires) reliés à un même récupérateur de chaleur unitaire (échangeur de chaleur) et du nombre total de d'échangeurs de chaleur (ou configurations unitaires identiques) contenus dans l'émetteur équivalent (tout est défini au niveau du récupérateur de chaleur unitaire). Une configuration (au niveau de l'émetteur équivalent) peut donc s'écrire sous la forme vectorielle suivante : $(Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} ; Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u})$.

Remarque : Un récupérateur de chaleur unitaire (l'indice u sert à spécifier que les appareils sanitaires reliés forment une configuration unitaire) doit être crée pour chaque type de configuration. En d'autres termes, un même récupérateur de chaleur ne peut être associé qu'à une et une seule configuration.

Dans le cas où $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (présence d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises), les paramètres d'intégration suivants sont demandés :

- $Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u}$, le nombre d'échangeurs de chaleur commun (à savoir le nombre de fois où la configuration unitaire est répétée) pour le même émetteur équivalent ;

- $Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}$, le nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou bains) reliés à un même récupérateur de chaleur ;

- $Nb_{non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}$, le nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou bains) dans l'émetteur équivalent commun qui ne sont pas reliés à un récupérateur de chaleur sur les eaux grises – ce paramètre est défini au sein du récupérateur de chaleur et concerne les appareils sanitaires à proximité.

9.21.2.3 *Nomenclature*

Le Tableau 300 présente la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul pour « Émetteur équivalent avec possibilité de récupération de chaleur sur eaux grises ».

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{ep}(h)$	Température de l'eau froide préchauffée en sortie d'échangeur de chaleur (récupérée au niveau de l'émetteur équivalent dans le cas de $Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$)	°C
$\theta_{ec}(h-1)$	Température de l'eau chaude prélevée au ballon d'ECS au pas de temps précédent (fixée à 55°C par défaut)	°C
θ_{cw}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
$V_{uw}^{gr}(h)$	Volume d'eau puisée à la température de l'eau mitigée θ_{uw}	L

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$Rat_{douches-bains}$	Pourcentage conventionnel des besoins hebdomadaires d'ECS dédiés aux douches et/ou aux bains	-	0	100	

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$I_{recup}^{gr,em-e}$	Présence ou absence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent : 0. Pas de récupérateur de chaleur 1. Présence d'un récupérateur de chaleur	-	0	1	
$Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u}$	Nombre d'échangeurs de chaleur auxquels sont reliés les appareils sanitaires de l'émetteur équivalent (nombre de configurations unitaires identiques au sein du même émetteur).	-	0	+∞	
$Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}$	Nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires uniquement) reliés à un récupérateur de chaleur commun (configuration unitaire).	-	0	+∞	

$Nb^{gr,em-e,u}_{non-relies,\ douches-bains}$	Nombre d'appareils sanitaires (douches et/ou baignoires uniquement) non reliés à un récupérateur de chaleur commun (configuration unitaire).	-	0	+∞
$Type^{gr,em-e}_{recup}$	Type de configuration pour le récupérateur de chaleur : 0. Collective – intergroupe 1. Individuelle – groupe	-	0	2
$T^{gr,em-e}_{position}$	Position du récupérateur de chaleur dans le circuit d'arrivée d'eau froide : 0. En amont du ballon d'ECS et des mitigeurs 1. En amont du ballon d'ECS uniquement 2. En amont des mitigeurs uniquement	-	0	2
$P^{gr,em-e-u}_{relevage,nominal}$	Puissance nominale de la pompe de relevage	W		

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta^{gr,em-e,u}_{eg}(h)$	Température des eaux grises récupérables	°C
$debit^{gr,em-e,u}_{ef}(h)$	Débit d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur unitaire	L/h
$Q^{gr,em-e}_{w}(h)$	Besoins d'ECS de l'émetteur équivalent	Wh
$Q^{gr}_{w}(h)$	Besoins d'ECS du groupe	Wh
$Q^{gr,em-e}_{relevage,douches-bains}$	Consommation en énergie primaire de la pompe de relevage au niveau de l'émetteur équivalent	Wh

Variables internes

Nom	Description	Unité
$V^{gr,em-e,u}_{uw,rat-relie,douches-bains}(h)$	Volume d'eau mitigée puisée par les douches et/ou baignoires reliées à l'échangeur de chaleur de la configuration unitaire	L
$V^{gr,em-e,u}_{uw,rat-non-relie,douches-bains}(h)$	Volume d'eau mitigée puisée par les douches et/ou baignoires non reliées à l'échangeur de chaleur de la configuration unitaire	L

Rat	Pourcentage conventionnel des besoins hebdomadaires d'ECS dédiés aux douches et/ou baignoires	-	0	1
$Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}$	Nombre de douches et/ou baignoires à l'échelle d'une configuration unitaire	-		
$V_{eg}^{gr,em-e-u}(h)$	Volume d'eaux grises évacué à l'échelle d'une configuration unitaire	L		
$V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}(h)$	Volume d'eaux grises évacué « récupérable » (passant par un échangeur de chaleur) à l'échelle d'une configuration unitaire	L		
$N_{puisage-equiv,relies,i}^{gr,em-e,u}(h)$	Nombre de puisages équivalents par type d'appareil sanitaire relié à l'échelle d'une configuration unitaire	-		
$N_{puisage-equiv,non-relies,i}^{gr,em-e,u}(h)$	Nombre de puisages équivalents par type d'appareil sanitaire non relié à l'échelle d'une configuration unitaire	-		
$V_{uw-equiv,i}^{gr,em-e}$	Volume équivalent à 40°C puisé par type d'appareil sanitaire	L		
$debit_{nominal-moyen-relies}^{gr,em-e,u}(h)$	Débit volumique nominal moyen de fonctionnement des différents types appareil sanitaire reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	L/h		
$debit_{nominal-moyen-non-relies}^{gr,em-e,u}(h)$	Débit volumique nominal moyen de fonctionnement des différents types d'appareil sanitaire non reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	L/h		
$\Delta t_{nominal-moyen-relies}^{gr,em-e}(h)$	Durée nominale moyenne de fonctionnement des différents types d'appareil sanitaire reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	h		
$\Delta t_{nominal-moyen-non-relies}^{gr,em-e}(h)$	Durée nominale moyenne de fonctionnement des différents types d'appareil sanitaire non reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	h		
$N_{puisage-moyen-equiv,relies,i}^{gr,em-e,u}(h)$	Nombre moyen de puisages équivalents pour les différents types d'appareil sanitaire à l'échelle d'une configuration unitaire	-		
$N_{puisage-moyen-equiv,non-relies,i}^{gr,em-e,u}(h)$	Nombre moyen de puisages équivalents pour les différents types d'appareil sanitaire à l'échelle d'une configuration unitaire	-		
$debit_{effectif-moyen-relies}^{gr,em-e,u}(h)$	Débit volumique effectif moyen des appareils sanitaires reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	L/h		

$debit^{gr,em-e,u}_{effectif-moyen-non-relies}(h)$	Débit volumique effectif moyen des appareils sanitaires non reliés à l'échelle d'une configuration unitaire	L/h		
$Y_{relies}(h)$	Coefficient de probabilité de simultanéité des puisages associé aux appareils sanitaires reliés	-	0	1
$Y_{non-relies}(h)$	Coefficient de probabilité de simultanéité des puisages associé aux appareils sanitaires non reliés	-	0	1
$debit^{gr,em-e,u}_{eg,recup}(h)$	Débit volumique des eaux grises « récupérables » associé aux appareils sanitaires reliés	L/h		
$debit^{gr,em-e,u}_{eg,non-recup}(h)$	Débit volumique des eaux grises « non récupérables » associé aux appareils sanitaires non reliés	L/h		
$\Delta t^{gr,em-e-u}_{effectif-relies,douches-bains}(h)$	temps effectif de fonctionnement de la pompe de relevage au pas de temps	h		
$debit^{gr,em-e-u}_{nominal,relevage}$	Débit nominal de la pompe de relevage	L/h		
$C_{simultaneite}$	Coefficient de simultanéité de fonctionnement des appareils sanitaires	-	0	1

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$debit^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains}$	Débit volumique nominal de fonctionnement des douches pour l'émetteur équivalent ($8\ \text{L/min} = 480\ \text{L/h}$)	L/h	480
$\Delta t^{gr,em-e}_{nominal,douches-bains}$	Durée nominale de fonctionnement des douches pour l'émetteur équivalent ($5\ \text{min} = 0{,}083\ \text{h}$)	h	0,083
$\Delta\theta^{util}_{douches-bains}$	Déperdition de température (perte thermique) entre l'émission et l'évacuation de l'eau mitigée pour les douches.	°C	3
$C_{p,eau}$	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg·K)	1,163
ρ_{eau}	Masse volumique des eaux grises	kg/L	1

Tableau 300 : Nomenclature des différentes variables du modèle « émetteur équivalent avec récupérateur de chaleur sur les eaux grises »

9.21.2.4 *Description mathématique*

L'algorithme mathématique est décomposé en deux étapes : (i) le calcul des volumes, débits et températures nécessaires au modèle de récupération sur les eaux grises, puis (ii) le calcul des besoins d'ECS, notés $Qw(h)$, à destination de la génération d'ECS. Dans toute la suite du document, le pas de temps horaire de simulation est noté h.

Ces deux étapes sont successives dans le cas de $T^{gr,em-e}_{position} = 1$ (récupération de chaleur situé uniquement au niveau de l'alimentation en eau froide), mais espacées dans le cas $T^{gr,em-e}_{position} =$

0 (récupération de chaleur situé en amont des mitigeurs et du ballon d'ECS) ou $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ (récupération de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs) où un passage dans le modèle d'échangeur de chaleur individuel (défini au niveau du récupérateur de chaleur unitaire) est nécessaire avant de pouvoir calculer les besoins d'ECS.

9.21.2.4.1 Étape 1 : calcul des volumes, débits et températures du système d'ECS

Les calculs s'effectuent à l'échelle de la configuration unitaire ($gr, em-e, u$), à savoir à l'échelle d'un échangeur de chaleur. Les résultats obtenus sont ensuite multipliés par le nombre de configurations unitaires identiques (nombre d'échangeurs de chaleur). Des constantes conventionnelles sont définies afin de faire les calculs :

- $debit_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$, le débit volumique nominal de fonctionnement d'une douche ou d'une baignoire pour l'émetteur équivalent ;

- $\Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$, la durée nominale de fonctionnement d'une douche ou d'une baignoire pour l'émetteur équivalent.

Les bains sont considérés comme des évènements ponctuels qui peuvent être considérés comme négligeables au niveau réglementaire – car non représentatifs. Par conséquent, les baignoires sont traitées comme des douches.

Volumes

Le nombre de litres d'eau mitigée (eau à 40°C) hebdomadaires nécessaires par émetteur d'ECS équivalent (prenant en compte l'effet des appareils économes), noté $V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e}$, est défini dans la partie 9.5.3.2de la méthode TH-BCE. Ce volume est rapporté au pas de temps horaire, $V_{uw}^{gr,em-e}(h)$, grâce à une clé de répartition horaire propre à chaque usage, laquelle est notée ah, telle que $V_{uw}^{gr,em-e}(h) = V_{uw\_hebdo\_corr}^{gr,em-e} \times ah$.

Le volume d'eau mitigé puisée par heure au niveau du groupe est donc égale à la somme des volumes d'eau mitigée puisée à l'échelle de l'émetteur équivalent :

$$V_{uw}^{gr}(h) = \sum_{em-e \in gr} V_{uw}^{gr,em-e}(h) \qquad (2210)$$

Le volume d'eau mitigé puisée par émetteur équivalent correspond quant à lui à la somme des volumes d'eau mitigée puisée à l'échelle de la configuration unitaire (contenu dans un émetteur équivalent) :

$$V_{uw}^{gr,em-e}(h) = \sum_{u \in em-e} Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \qquad (2211)$$

Le volume d'eau mitigé puisée à l'échelle de la configuration unitaire dépend du nombre d'appareils sanitaires liés à la configuration unitaire et du nombre de configurations unitaires identiques tel que :

$$V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw,rat-relie,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) + V_{uw,rat-non-relie,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \qquad (2212)$$

avec :

$$V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = Rat \times \frac{Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}}{\sum_{em-e \in gr} \sum_{u \in em-e} Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}} \times V_{uw}^{gr}(h) \quad (2213)$$

$$V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = Rat \times \frac{Nb_{non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}}{\sum_{em-e \in gr} \sum_{u \in em-e} Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}} \times V_{uw}^{gr}(h) \quad (2214)$$

où Rat et $Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u}$ sont la proportion des besoins dédiés aux douches et/ou aux bains et le nombre d'appareils associés à Rat pour une configuration unitaire, respectivement, avec :

$$Rat = \frac{100 - Rat_{douches-bains}}{100} \quad (2215)$$

où $Rat_{douches-bains}$ est le pourcentage de besoins dédiés aux douches et/ou aux bains, lequel est défini conventionnellement dans la partie 9.5.3.4.2 de la méthode Th-BCE, et $Nb_{douches\_bains}^{gr,em-e,u}$ le nombre total de douches et/ou baignoires défini comme suit :

$$Nb_{douches-bains}^{gr,em-e,u} = Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} + Nb_{non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} \quad (2216)$$

Le volume des eaux grises évacuées est le même que le volume d'eau mitigée puisée par heure, à l'échelle de la configuration unitaire, à savoir :

$$V_{eg}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2217)$$

L'équation (2217) est basée sur l'hypothèse que l'évacuation des baignoires se déroule au même pas de temps que les autres appareils sanitaires. Qui plus est, les bains sont considérés comme des évènements ponctuels qui peuvent être considérés comme négligeables au niveau réglementaire – car non représentatifs.

Le volume des eaux grises « récupérables » (à savoir la partie des eaux grises qui passe au travers du récupérateur de chaleur) à l'échelle de la configuration unitaire est quant à lui le suivant :

$$V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}(h) = V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2218)$$

Températures vers distribution

Les constantes suivantes (définies conventionnellement) sont utilisées afin de déterminer le jeu de températures nécessaire en entrée du module « récupérateur instantané de chaleur » :

- θ_{uw}, température de l'eau mitigée utilisée au puisage (égale à 40°C) ;
- $\Delta\theta_{douches-bains}^{util}$, déperditions de température entre l'émission et l'évacuation de l'eau mitigée dans le circuit de distribution.

La température de l'eau mitigée utilisée au puisage est égale à 40°C. Les déperditions de température entre l'émission et l'évacuation de l'eau mitigée dans le circuit de distribution sont définies comme suit :

$$\Delta\theta_{douches-bains}^{util} = 3°C \quad (2219)$$

La température des eaux grises récupérables est le résultat du mélange des volumes évacués de chaque appareil sanitaire de la configuration unitaire relié à l'échangeur de chaleur commun :

$$\theta_{eg}^{gr,em-e,u}(h) = \frac{V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \left(\theta_{uw} - \Delta\theta_{type,douches-bains}^{util}\right)}{V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}(h)} = \theta_{uw} - \Delta\theta_{type,douches-bains}^{util} \quad (2220)$$

Débits d'eaux grises circulant dans le récupérateur de chaleur

Les débits réels des eaux grises et de l'eau froide circulant dans un échangeur de chaleur sont nécessaires pour le calcul de son efficacité. Le débit horaire ne permet pas de représenter fidèlement les débits d'évacuation (et donc l'efficacité de l'échangeur de chaleur sur les eaux grises). L'utilisation des débits horaires supposeraient une évacuation de l'eau en continu sur une heure (durée du pas de temps de simulation) alors que l'utilisation effective des appareils sanitaires est souvent inférieure à cette durée.

Pour chaque échangeur de chaleur, un débit moyen probable lors des périodes de fonctionnement est calculé grâce à une méthode reposant sur des hypothèses conventionnelles quant à la nature des puisages pour les douches et/ou baignoires. Le volume des eaux grises « récupérables » est alors décomposé en un nombre de puisages significatifs/équivalents.

Un nombre de puisages équivalents pour les douches et baignoires reliées est calculé de la façon suivante :

$$N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = \left\lceil \frac{V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{V_{uw-equiv,douches-bains}^{gr,em-e}} \right\rceil \quad (2221)$$

où $V_{uw-equiv,douches-bains}^{gr,em-e}$ est le volume équivalent à 40°C par type [m^3] (lequel dépend du débit nominal $debit_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$ [m^3/s] et de la durée nominale $\Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}$ [s] définis conventionnellement) calculé comme suit :

$$V_{uw-equiv,douches-bains}^{gr,em-e} = debit_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e} \times \Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e} \quad (2222)$$

Un nombre de puisages équivalents pour les douches et baignoires non reliées est calculé comme suit :

$$N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) = \left\lceil \frac{V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{V_{uw-equiv,douches-bains}^{gr,em-e}} \right\rceil \quad (2223)$$

Le nombre de puisages équivalents permet de calculer un débit effectif en conservant comme référence la durée nominale (définie conventionnellement) :

$$debit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h) = \frac{V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{N_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}} \quad (2224)$$

$$debit_{effectif-non-relies}^{gr,em-e,u}(h) = \frac{V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h)}{N_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \Delta t_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e}} \quad (2225)$$

D'après les hypothèses précédentes, si tous les puisages avaient lieu simultanément au pas de temps h, le débit d'ECS maximal (pour les appareils sanitaires reliés) serait donc $N_{puisage-equiv,reliés,douches-bain}^{gr,em-e,u}(h) \times debit_{effectif-relies}^{gr,em-e,u}(h)$. Comme tous les puisages n'ont pas forcément lieu en même temps, le débit des eaux grises est donc calculé à partir du débit

d'ECS effectif, en intégrant un facteur de concomitance :

Si $N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}(h) = 1$:

$$debit^{gr,em-e,u}_{eg,recup}(h) = N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}(h) \times debit^{gr,em-e,u}_{effectif-relies}(h) \quad (2226)$$

sinon :

$$debit^{gr,em-e,u}_{eg,recup}(h) = N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}(h) \times debit^{gr,em-e,u}_{effectif-relies}(h) \times Y_{relies}(h) \quad (2227)$$

où $Y_{relies}(h)$ est le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages (facteur de concomitance), pour les appareils sanitaires reliés, calculé comme suit :

$$Y_{relies}(h) = \frac{0,8}{\sqrt{N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,reliés,douches-bains}(h) - 1}} \quad (2228)$$

Si $N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) = 1$:

$$debit^{gr,em-e,u}_{eg,non-recup}(h) = N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) \times debit^{gr,em-e,u}_{effectif-non-relies}(h) \quad (2229)$$

sinon :

$$debit^{gr,em-e,u}_{eg,non-recup}(h) = N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) \times debit^{gr,em-e,u}_{effectif-non-relies}(h) \times Y_{non-relies}(h) \quad (2230)$$

où $Y_{non-relies}(h)$ est le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages (facteur de concomitance), pour les appareils sanitaires reliés, calculé comme suit :

$$Y_{non-relies}(h) = \frac{0,8}{\sqrt{N^{gr,em-e,u}_{puisage-equiv,non-reliés,douches-bains}(h) - 1}} \quad (2231)$$

Débits d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur

Le débit d'arrivée d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur dépend de la position du récupérateur de chaleur.

Si $T^{gr,em-e}_{position} = 0$ *(récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froide)*

Toute l'eau froide entrante afin de remplacer le volume d'eau rejeté circule dans l'échangeur de chaleur. Le débit d'eau froide est donc égal à tout instant au débit d'eau rejeté :

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h) = debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) + debit_{eg,non-recup}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2232)$$

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid)*

Seul le volume d'eau froide à destination du ballon d'eau chaude circule dans l'échangeur de chaleur. Le débit d'eau froide correspondant est égal au débit d'eau chaude fourni par le ballon à l'ensemble des mitigeurs (reliés ou non). À tout instant, le volume d'eau chaude appelé est le suivant :

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{cw}} \quad (2233)$$

Le débit d'eau froide circulant dans le récupérateur de chaleur unitaire est donc calculé comme suit :

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h) = \left[debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) + debit_{eg,non-recup}^{gr,em-e,u}(h)\right] \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{cw}(h-1) - \theta_{cw}} \quad (2234)$$

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs)*

Seul le volume d'eau froide à destination des mitigeurs reliés circule dans l'échangeur de chaleur. Ce volume est difficile à évaluer puisqu'il dépend de la température de l'eau préchauffée et que cette dernière dépend du débit d'eau froide circulant dans l'échangeur de chaleur. Le pas de temps horaire est trop grand pour utiliser la température au pas de temps précédent comme référence.

Un calcul itératif au sein du même pas de temps horaire h dans le bloc « récupérateur instantané de chaleur sur les eaux grises » est utilisé afin de calculer la température de l'eau préchauffée

Initialisation

$n = 0$

$n\_max = 1000$

$\theta_{ep}^{gr,em-e,u}(n=0) = \frac{\theta_{eg}+\theta_{cw}}{2}$ (Correspond à un rendement initial de l'échangeur de chaleur de 50%)

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n=0) = debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{ep}}$$

Boucle

Tant que $n <= n\_max$ ou que $\frac{\left|debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n) - debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n-1)\right|}{debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)} > 5\%$ (passage dans le récupérateur, h est fixe) :

$\theta_{ep}(n+1)$ ← Modèle échangeur instantané de chaleur ($debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)$)

$$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n+1) = debit_{eg,recup}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(n+1)}{\theta_{ec}(h-1) - \theta_{ep}(n+1)}$$

$n = n + 1$

Fin

$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h) = debit_{ef}^{gr,em-e,u}(n)$

Le débit obtenu avec une marge d'erreur inférieure à 5% est alors utilisé comme donnée d'entrée du module échangeur du processus de calcul normal. Il « repasse » donc une fois de plus dans le module échangeur (entrainant un gain en précision sur les données de sorties).

9.21.2.4.2 Étape 2 : calcul des besoins d'ECS

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (*récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid*) ou $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Le volume d'eau chaude appelée au niveau de la configuration unitaire est identique à celui en l'absence de récupérateur de chaleur sur les eaux grises.

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}} \quad (2235)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}} \quad (2236)$$

Les besoins d'ECS ne sont pas modifiés par la présence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises. La configuration ($T_{position}^{gr,em-e} = 1$) est la seule configuration pour laquelle il n'est pas nécessaire de revenir calculer les besoins au niveau de l'émetteur équivalent après passage dans le module d'échangeur de chaleur. Les besoins ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe : (2237)

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Les effets de la présence d'un récupérateur de chaleur sur eaux grises pour $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ s'observent au niveau du ballon d'ECS (voir Assemblage ballon ECS en partie 9.21.3).

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ (*récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froid*)

L'utilisation d'une eau préchauffée au niveau du ou des mitigeurs revient à diminuer les besoins horaires d'eau chaude par rapport à une installation sans récupérateur de chaleur.

Cet effet se traduit donc par une diminution des besoins d'eau chaude. Il est alors nécessaire de calculer le nouveau volume d'eau chaude appelée :

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} \quad (2238)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw}^{gr,em-e}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} \quad (2239)$$

Les besoins d'ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw}) \quad (2240)$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe :

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

Le reste de l'eau froide préchauffée vient remplacer dans des proportions exactes le volume d'eau chaude puisée dans le ballon d'ECS, diminuant ainsi les consommations d'énergie (voir Assemblage ballon ECS en partie 9.21.3).

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs)*

Comme pour $T_{position}^{gr,em-e} = 0$, l'utilisation d'une eau préchauffée au niveau du ou des mitigeurs revient à diminuer les besoins d'ECS par rapport à une installation sans récupérateur de chaleur mais cette fois uniquement pour les émetteurs reliés au récupérateur de chaleur. À l'échelle de la configuration unitaire, cela se traduit par :

$$V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) = V_{uw,rat-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{ep}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{ep}(h)} + V_{uw,rat-non-relies,douches-bains}^{gr,em-e,u}(h) \times \frac{\theta_{uw} - \theta_{cw}(h)}{\theta_{ec}(h) - \theta_{cw}(h)} \quad (2241)$$

À l'échelle de l'émetteur équivalent,

$$V_{ec}^{gr,em-e}(h) = Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times V_{ec}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2242)$$

Les besoins d'ECS sont les suivants :

Par émetteur d'ECS équivalent

$$Q_w^{gr,em-e}(h) = \rho_w \times c_w \times V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw}) \quad (2243)$$

Somme sur tous les émetteurs d'ECS du groupe :

$$Q_w^{gr}(h) = \rho_w \times c_w \times \sum_{em-e \in gr} V_{ec}^{gr,em-e}(h) \times (\theta_{ec} - \theta_{cw})$$

À l'inverse de $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ et $T_{position}^{gr,em-e} = 1$, l'eau froide en entrée du ballon ECS n'est pas préchauffée. La présence d'un récupérateur de chaleur n'a donc pas d'effet sur la génération.

9.21.3 ASSEMBLAGE BALLON ECS

9.21.3.1 ***Introduction***

La présence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises peut, selon sa position, modifier la température entrante de l'eau dans le ballon d'eau chaude sanitaire. Il convient alors de modifier la variable $\theta_{entrant}(h)$ quel que soit le type d'assemblage ballon (voir fiche S2_ GEN_ Assemblage constitué d'un ou plusieurs ballon et d'un ou plusieurs générateurs) relié à l'émetteur équivalent.

9.21.3.2 ***Nomenclature***

Le Tableau 301 présente la nomenclature des ajouts nécessaires aux nomenclatures des fiches « assemblage ballon stockage ECS ».

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
θ_{ef}	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
$\theta_{ep}(h)$	Température de l'eau froide préchauffée récupérée au niveau du module échangeur de chaleur relié à l'émetteur d'ECS équivalent	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$I_{recup}^{gr,em-e}$	Présence ou absence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent : 0. Pas de récupérateur de chaleur 1. Présence d'un récupérateur de chaleur	-	0	1	
$T_{position}^{gr,em-e}$	Position du récupérateur de chaleur dans le circuit d'arrivée d'eau froide : 0. En amont du ballon d'ECS et des mitigeurs 1. En amont du ballon d'ECS uniquement 2. En amont des mitigeurs uniquement	-	0	2	

Sorties

Nom	Description	Unité

Variables internes		
Nom	Description	Unité
$\theta_{entrant}(h)$	Température d'entrée de l'eau froide dans le ballon de stockage d'ECS	°C

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.

Tableau 301 : Nomenclature des différentes variables utilisées dans les ajouts à « assemblage ballon stockage ECS »

9.21.3.3 *Description mathématique*

9.21.3.3.1 Si $I_{recup}^{gr,em-e} = 0$ (pas de système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Dans ce cas, la température entrante ne change pas :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{entrant} = \theta_{ef} \quad (2244)$$

9.21.3.3.2 Si $I_{recup}^{gr,em-e} = 1$ (système de récupération de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent)

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 0$ *(récupérateur de chaleur situé en amont des mitigeurs et de l'alimentation d'eau froid*) ou $T_{position}^{gr,em-e} = 1$ (*récupérateur de chaleur situé uniquement en amont de l'alimentation d'eau froid*)

L'eau froide arrivant au ballon d'eau chaude a été préalablement préchauffée :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{ep}(h) \quad (2245)$$

Si $T_{position}^{gr,em-e} = 2$ *(récupérateur de chaleur situé uniquement en amont des mitigeurs)*

Le préchauffage de l'eau froide ayant eu lieu uniquement au niveau des mitigeurs, l'eau froide arrivant au ballon d'eau chaude n'est pas impactée :

$$\theta_{entrant}(h) = \theta_{entrant} = \theta_{ef} \quad (2246)$$

9.21.4 DISTRIBUTION D'EVACUATION DES EAUX GRISES DU GROUPE

9.21.4.1 ***Introduction***

Cet objet permet de calculer les pertes thermiques sur les eaux grises entre l'évacuation au point de puisage et l'arrivée à l'échangeur de chaleur du système de récupération individuel ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$).

9.21.4.2 ***Nomenclature***

Le Tableau 302 présente la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul pour la « distribution du groupe d'évacuation des eaux grises ».

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$debit_{gw}^{gr,em-e,u}(h)$	Débit d'eaux grises évacué au niveau de l'émetteur équivalent en direction de l'échangeur unitaire	L/h
$debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h)$	Débit d'eau froide appelé au niveau de l'émetteur équivalent en direction de l'échangeur unitaire	L/h
$\theta_{eg}^{gr,em-e,u}(h)$	Température des eaux grises évacuées au niveau de l'émetteur équivalent en direction de l'échangeur unitaire	°C
$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure (fichier météo)	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$L_{evac,vc}^{2nd-e}$	Longueur moyenne totale du conduit de distribution du groupe d'évacuation des eaux grises ou longueur jusqu'à l'échangeur en volume chauffé ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$)	m			
$L_{evac,vnc}^{2nd-e}$	Longueur moyenne totale du conduit de distribution du groupe d'évacuation des eaux grises ou longueur jusqu'à l'échangeur en volume non chauffé ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$)	m			

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def

Sorties

Nom	Description	Unité

$debit_{eg}^{2nd-e}(h)$	Débit d'eaux grises circulant dans la distribution du groupe en direction de l'échangeur de chaleur	L/h
$debit_{ef}^{2nd-e}(h)$	Débit d'eau froide entrant en direction de l'échangeur de chaleur	L/h
$\theta_{eg}^{2nd-e}(h)$	Température des eaux grises après calcul des pertes de distribution du groupe	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{air}(h)$	Température moyenne de l'air ambiant au contact de la distribution	°C
$\Delta\theta^{2nd-e}$	Chute de température dans le conduit	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_{eau}	Masse volumique des eaux grises	kg/L	1
θ_{amb}	Température considérée dans les locaux chauffés	°C	20

Tableau 302 : Nomenclature des différentes variables du modèle « distribution du groupe d'évacuation des eaux grises »

9.21.4.3 *Description mathématique*

9.21.4.3.1 Débits d'appel et d'évacuation

Les débits d'appel et d'évacuation de la distribution du groupe d'évacuation des eaux grises avant leur passage dans l'échangeur de chaleur du récupérateur de chaleur (cas $Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$) sont :

$$debit_{gw}^{2nd-e}(h) = debit_{gw}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2247)$$

$$debit_{ef}^{2nd-e}(h) = debit_{ef}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2248)$$

9.21.4.3.2 Températures et pertes thermiques

La température des eaux grises en entrée de la distribution du groupe d'évacuation des eaux grises, avant leur passage dans l'échangeur de chaleur du récupérateur de chaleur (cas $Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$), est calculée comme suit :

$$\theta_{eg}^{2nd-e}(h) = \theta_{eg}^{gr,em-e,u}(h) \quad (2249)$$

Le ratio de prise en compte de la présence de locaux non chauffés b_{2nd-e} est ca lculé comme suit :

$$b_{2nd-e} = \frac{L_{evac,vnc}^{2nd-e}}{L_{evac,vc}^{2nd-e} + L_{evac,vnc}^{2nd-e}} \quad (2250)$$

Ce ratio permet de calculer une température d'air $\theta_{air}(h)$ pour les pertes :

$$\theta_{air}(h) = (1 - b_{2nd-e}) \times \theta_{amb} + b_{2nd-e} \times \theta_{ext}(h) \quad (2251)$$

La chute de température est calculée comme suit :

$$\Delta\theta^{2nd-e} = [1 - F_{am}] \times \left(\theta_{eg}^{2nd-e}(h) - \theta_{air}(h)\right) \quad (2252)$$

où F_{am} est le coefficient de pertes dans les canalisations :

$$F_{am} = 1 - \frac{0{,}16}{100} \times L_{evac,vc}^{2nd-e} - \frac{0{,}30}{100} \times L_{evac,vnc}^{2nd-e} \quad (2253)$$

La température des eaux grises en sortie de la distribution du groupe d'évacuation des eaux grises est :

$$\theta_{eg}^{2nd-e}(h) = \theta_{eg}^{2nd-e}(h) - \Delta\theta^{2nd-e} \quad (2254)$$

9.21.5 DISTRIBUTION D'EVACUATION INTERGROUPE DES EAUX GRISES

9.21.5.1 ***Introduction***

Cet objet permet de calculer les pertes thermiques sur les eaux grises entre l'entrée dans le réseau de distribution d'évacuation intergroupe et l'arrivée à l'échangeur de chaleur du système de récupération de chaleur. Cet objet existe uniquement dans le cas d'une configuration de récupération des eaux grises collectives ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$).

9.21.5.2 ***Nomenclature***

Le Tableau 303 présente la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul pour la « distribution d'évacuation intergroupe des eaux grises ».

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$debit_{eg}^{2nd-e}(h)$	Débit d'eaux grises évacué au niveau du groupe en direction de l'échangeur unitaire	L/h
$debit_{ef}^{2nd-e}(h)$	Débit d'eau froide appelé au niveau du groupe en direction de l'échangeur unitaire	L/h
$\theta_{gw}^{2nd-e}(h)$	Température des eaux grises évacuées au niveau du groupe en direction de l'échangeur unitaire	°C
$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure (fichier météo)	°C

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$L_{evac,vc}^{prim}$	Longueur moyenne totale du conduit de distribution d'évacuation intergroupe des eaux grises ou longueur jusqu'à échangeur en volume chauffé ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$)	m			
$L_{evac,vnc}^{prim}$	Longueur moyenne totale du conduit de distribution d'évacuation intergroupe des eaux grises ou longueur jusqu'à échangeur en volume non chauffé ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$)	m			

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def

Sorties

Nom	Description	Unité
$debit_{eg}^{prim}(h)$	Débit d'eaux grises circulant dans la distribution intergroupe en direction de l'échangeur de chaleur	L/h
$debit_{ef}^{prim}(h)$	Débit d'eau froide entrant en direction de l'échangeur de chaleur	L/h
$\theta_{eg}^{prim}(h)$	Température des eaux grises après calcul des pertes de distribution intergroupe	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{air}(h)$	Température moyenne de l'air ambiant au contact de la distribution	°C
F_{am}	Coefficient de pertes dans les canalisations	-
$\Delta\theta^{prim}$	Chute de température dans le conduit	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_{eau}	Masse volumique des eaux grises	kg/L	1
θ_{amb}	Température considérée dans les locaux chauffés	°C	20

Tableau 303 : Nomenclature des différentes variables du modèle « distribution d'évacuation intergroupe des eaux grises »

9.21.5.4 *Description mathématique*

9.21.5.4.1 Débits d'appel et d'évacuation

Les débits d'appel et d'évacuation de chaque groupe sont mélangés dans la distribution intergroupe avant leur passage dans l'échangeur de chaleur du récupérateur de chaleur (cas $Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$) :

$$debit_{eg}^{prim}(h) = \sum_{gr \in zone} debit_{eg}^{2nd-e}(h) \quad (2255)$$

$$debit_{ef}^{prim}(h) = \sum_{gr \in zone} debit_{ef}^{2nd-e}(h) \quad (2256)$$

9.21.5.4.2 Températures et pertes thermiques

La température moyenne des eaux grises en entrée de la distribution intergroupe, avant leur passage dans l'échangeur de chaleur du récupérateur de chaleur (cas $Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$), est calculée comme suit :

$$\theta_{eg}^{prim}(h) = \frac{\sum_{gr \in zone} debit_{eg}^{2nd-e}(h) \times \theta_{eg}^{2nd-e}(h)}{debit_{eg}^{prim}(h)} \quad (2257)$$

Le ratio de prise en compte de la présence de locaux non chauffés b_{prim} est calculé comme suit :

$$b_{prim} = \frac{L_{evac,vnc}^{prim}}{L_{evac,vc}^{prim} + L_{evac,vnc}^{prim}} \quad (2258)$$

Ce ratio permet de calculer une température d'air $\theta_{air}(h)$ pour les pertes :

$$\theta_{air}(h) = \left(1 - b_{prim}\right) \times \theta_{amb} + b_{prim} \times \theta_{ext}(h) \quad (2259)$$

La chute de température est calculée comme suit :

$$\Delta\theta^{prim} = [1 - F_{am}] \times \left(\theta_{eg}^{prim}(h) - \theta_{air}(h)\right) \quad (2260)$$

où F_{am} est le coefficient de pertes dans les canalisations :

$$F_{am} = 1 - \frac{0{,}16}{100} \times L_{evac,vc}^{prim} - \frac{0{,}30}{100} \times L_{evac,vnc}^{prim} \quad (2261)$$

La température des eaux grises en sortie de la distribution intergroupe est :

$$\theta_{eg}^{prim}(h) = \theta_{eg}^{prim}(h) - \Delta\theta^{prim} \quad (2262)$$

9.21.6 ÉCHANGEUR INSTANTANÉ DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISES

9.21.6.1 ***Introduction***

Comme mentionné dans la partie 1, les récupérateurs sur eaux grises de chaleur se déclinent en deux configurations, à savoir une récupération collective ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 0$) ou individuelle ($Type_{recup}^{gr,em-e} = 1$). La différence entre les configurations se fait uniquement au niveau des entrées qui ne sont pas récupérées au même niveau selon le cas.

L'algorithme du modèle « échangeur instantané de chaleur sur les eaux grises » est décomposé en deux étapes :

- Calcul de l'efficacité de l'échangeur instantané de chaleur sur les eaux grises ;
- Calcul de la température d'eau froide et des eaux grises à la sortie de l'échangeur instantané de chaleur sur les eaux grises en fonction de l'efficacité calculée et des données d'entrée du système (débits et températures de l'eau évacuée et de l'eau froide à préchauffer).

9.21.6.2 ***Nomenclature***

Le Tableau 304 présente la nomenclature des différentes variables du modèle « échangeur instantané de chaleur sur les eaux grises ».

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$\theta_{ef}(h)$	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'ECS	°C
$\theta_{eg}^{prim}(h)$	Température des eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution intergroupe	°C
$\theta_{eg}^{2nd-e}(h)$	Température des eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution du groupe	°C
$debit_{ef}^{prim}(h)$	Débit volumique d'eau froide à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution intergroupe	L/h
$debit_{ef}^{2nd-e}(h)$	Débit volumique d'eau froide à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution du groupe	L/h
$debit_{eg}^{prim}(h)$	Débit volumique d'eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution intergroupe	L/h
$debit_{eg}^{2nd-e}(h)$	Débit volumique d'eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur en provenance de la distribution du groupe	L/h

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$	Efficacité de l'échangeur de chaleur sur les eaux grises donnée par l'utilisateur	-	0	1	-
C_{trans}	Coefficient transitoire de l'échangeur	-	0	1	-
UA_{ech_eg}	Coefficient d'échange thermique global de l'échangeur de chaleur sur les eaux grises pour une représentation détaillée	W/K	0	+∞	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$I_{recup}^{gr,em-e}$	Présence ou absence d'un récupérateur de chaleur sur les eaux grises pour l'émetteur équivalent : 0. Pas de récupérateur de chaleur 1. Présence d'un récupérateur de chaleur	-	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité
$\theta_{ep}(h)$	Température de l'eau froide préchauffée	°C
$\theta_{eg,evac}(h)$	Température des eaux grises après passage dans l'échangeur de chaleur (en sortie)	°C

Variables internes

Nom	Description	Unité	Min	Max
$\theta_{eg}^{ech}(h)$	Température des eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur	°C		
$debit_{eg}^{ech}(h)$	Débit d'eaux grises à l'entrée de l'échangeur de chaleur	L/h		
$debit_{ef}^{ech}(h)$	Débit d'eau froide à l'entrée de l'échangeur de chaleur	L/h		
$\varepsilon_{ech\_eg}(h)$	Efficacité du récupérateur de chaleur sur eaux grises	-	0	1
$C_{ef}(h)$	Débit calorifique de l'eau froide entrant dans l'échangeur	W/K		
$C_{eg}(h)$	Débit calorifique des eaux grises dans l'échangeur	W/K		

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
$c_{p,eau}$	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg·K)	1,163

Tableau 304 : Nomenclature des différentes variables utilisées dans le modèle « échangeur instantané de chaleur sur les eaux grises »

9.21.6.3 *Description mathématique*

9.21.6.3.1 Différences entre le modèle « échangeur individuel » ($\boldsymbol{Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 0}$) et « échangeur collectif » ($\boldsymbol{Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 1}$)

Si $Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 0$ (récupération collective) :

Récupération des données d'entrée au niveau intergroupe :

$$\theta_{eg}^{ech}(h) = \theta_{eg}^{prim}(h) \quad (2263)$$

$$debit_{ef}^{ech}(h) = debit_{ef}^{prim}(h) \quad (2264)$$

$$debit_{eg}^{ech}(h) = debit_{eg}^{prim}(h) \quad (2265)$$

Si $Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 1$ (récupération individuel) :

Récupération des données d'entrée au niveau du groupe

$$\theta_{eg}^{ech}(h) = \theta_{eg}^{2nd-e}(h) \quad (2266)$$

$$debit_{ef}^{ech}(h) = debit_{ef}^{2nd-e}(h) \quad (2267)$$

$$debit_{eg}^{ech}(h) = debit_{eg}^{2nd-e}(h) \quad (2268)$$

9.21.6.3.2 Partie commune aux modèles « échangeur individuel » ($\boldsymbol{Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 0}$) et « échangeur collectif » ($\boldsymbol{Type_{recup}^{gr,em-e,u} = 1}$)

Cette partie est commune aux deux modèles d'échangeur de chaleur.

9.21.6.3.2.1 Calcul de l'efficacité de l'échangeur de chaleur

L'efficacité rentrée par l'utilisateur $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ doit prendre l'une des valeurs suivantes :

- $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe} = C_{trans} \times \varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ si les valeurs de C_{trans} et $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ sont issues des valeurs certifiées par un organisme indépendant accrédité ;
- $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe} = 0{,}9 \times C_{trans} \times \varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ si les valeurs de C_{trans} et $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ sont issues des valeurs justifiées par un organisme indépendant accrédité ;
- $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe} = \min\{0{,}8 \times C_{trans} \times \varepsilon_{ech\_eg\_fixe}, 0{,}15\}$ si les valeurs de C_{trans} et $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ sont issues des valeurs déclarées par le fabricant ;

- En l'absence d'information, à savoir qu'au moins une des valeurs de C_{trans} ou $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe}$ est prise par défaut, $\varepsilon_{ech\_eg\_fixe} = 0{,}8 \times 0{,}15$ est utilisée dans la représentation du récupérateur de chaleur.

À tout pas de temps h,

$$\varepsilon_{ech\_eg}(h) = \begin{cases} 0 & \text{, si } C_{ef}(h) = 0 \text{ ou } C_{eg}(h) = 0 \\ \varepsilon_{ech\_eg\_fixe} & \text{, autrement} \end{cases} \quad (2269)$$

où les débits calorifiques $C_{ef}(h)$ et $C_{eg}(h)$ sont calculés suivant les équations (2270) et (2271).

$$C_{eg}(h) = \rho_{eau} \times c_{p,eau} \times debit_{eg}^{ech}(h) \quad (2270)$$

$$C_{ef}(h) = \rho_{eau} \times c_{p,eau} \times debit_{ef}^{ech}(h) \quad (2271)$$

9.21.6.3.2.2 Calcul de la température d'eau froide préchauffée et des eaux grises en sortie de l'échangeur de chaleur

La température de l'eau froide préchauffée en sortie de l'échangeur de chaleur se déduit de la façon suivante :

$$\theta_{ep}(h) = \theta_{ef}(h) + \varepsilon_{ech\_eg}(h) \times \left[\theta_{eg}^{ech}(h) - \theta_{ef}(h)\right] \times \frac{\min\left(C_{eg}(h); C_{ef}(h)\right)}{C_{ef}(h)} \quad (2272)$$

La température des eaux grises préchauffées en sortie de l'échangeur de chaleur se déduit de la façon suivante :

$$\theta_{eg,evac}(h) = \theta_{eg}^{ech}(h) + \varepsilon_{ech\_eg}(h) \times \left[\theta_{ef}(h) - \theta_{eg}^{ech}(h)\right] \times \frac{\min\left(C_{eg}(h); C_{ef}(h)\right)}{C_{eg}(h)} \quad (2273)$$

9.21.7 ÉNERGIE CONSOMMEE PAR LA POMPE DE RELEVAGE (AJOUTS COMETH)

9.21.7.1 ***Calcul de la consommation***

Dans le cas de l'utilisation d'une pompe de relevage rendue nécessaire par l'utilisation d'un système de récupération de chaleur sur les eaux grises associée à un récupérateur de chaleur unitaire, la consommation en énergie primaire de celle-ci est calculée à chaque pas de temps h comme suit :

$$Q_{relevage,douches-bains}^{gr,em-e-u}(h) = P_{relevage,nominal}^{gr,em-e-u} \times \Delta t_{effectif-relies,douches-bains}^{gr,em-e-u}(h) \quad (2274)$$

Où $P_{relevage,nominal}^{gr,em-e-u}$ est la puissance nominale de la pompe de relevage [W] et $\Delta t_{effectif-relies,douches-bains}^{gr,em-e-u}(h)$ [h], le temps effectif de fonctionnement de la pompe de relevage au pas de temps h, est calculé comme suit :

$$\Delta t_{effectif-relies,douches-bains}^{gr,em-e-u}(h) = \frac{debit_{nominal,relevage}^{gr,em-e-u}}{V_{eg,recup}^{gr,em-e-u}(h)} \quad (2275)$$

avec, $debit_{nominal,relevage}^{gr,em-e-u}$ [L/h], le débit nominal de la pompe de relevage associée à un récupérateur de chaleur unitaire :

$$debit_{nominal,relevage}^{gr,em-e-u} = C_{simultaneite} \times Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} \times debit_{nominal,douches-bains}^{gr,em-e} \quad (2276)$$

où $C_{simultaneite}$ est le coefficient de simultanéité de fonctionnement des appareils sanitaires (douches et/ou baignoires), calculé comme suit :

$$C_{simultaneite} = \begin{cases} \dfrac{0{,}8}{\sqrt{Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} - 1}} & si\ Nb_{relies,douches-bains}^{gr,em-e,u} \geq 5 \\ 1 & autrement \end{cases} \quad (2277)$$

La consommation en énergie primaire de la pompe de relevage au niveau de l'émetteur équivalent est) :

$$Q_{relevage,douches-bains}^{gr,em-e}(h) = \sum_{u \in em-e} Nb_{echangeurs}^{gr,em-e,u} \times Q_{relevage,douches-bains}^{gr,em-e-u}(h) \quad (2278)$$

9.22 PR1_IdCET_ Saisie des chauffe-eau thermodynamiques à compression électrique

9.22.1 INTRODUCTION

Dans la présente méthode Th-BCE, la production d'eau chaude sanitaire à partir d'un ballon chauffé par un générateur thermodynamique est modélisée d'une part par un ballon de stockage avec ses propres paramètres, et le générateur thermodynamique et un échangeur d'autre part.

La norme NF EN 16147 préconise des essais sur l'assemblage de ces composants (c'est-à-dire la pompe à chaleur et le ballon de stockage). Les résultats ne portent que sur l'assemblage et non pas sur chacun des éléments.

Ce document a pour but de décrire les algorithmes de l'outil informatique opérationnel implémentant cette méthode, nommé IdCET. IdCET est un outil qui permet de fournir, à l'aide d'une méthode mathématique, les paramètres de description nécessaires à la présente méthode relatifs à la production d'eau chaud thermodynamique avec stockage, à partir des résultats d'essais de la norme NF EN 16147.

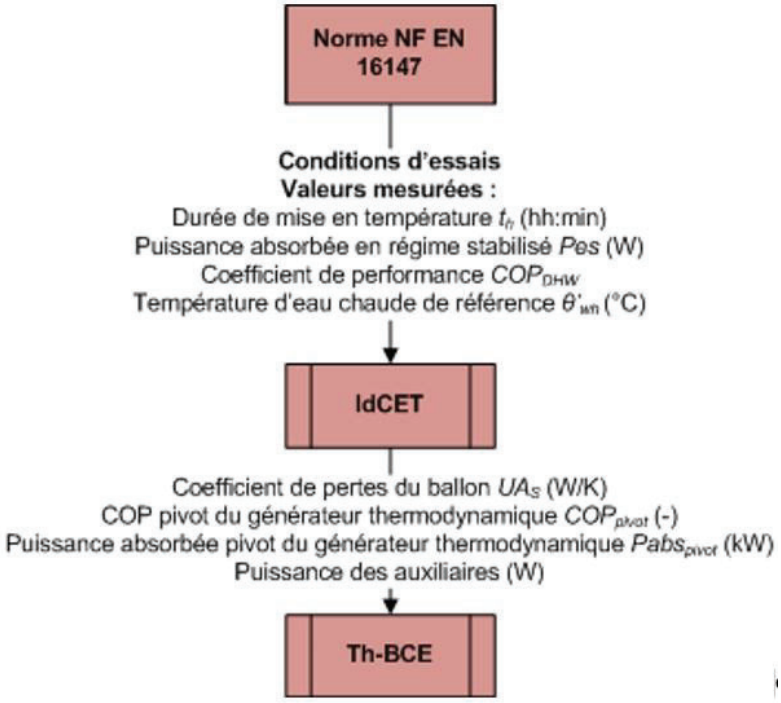


Figure 206 : principe de l'outil IdCET

Il s'agit d'identifier les paramètres suivants de la méthode Th-BCE :

1. UA_S : le coefficient de pertes du ballon en W/K
2. La valeur pivot du COP - cf. Méthode Th-BCE section 8.23
3. La valeur pivot de la puissance absorbée des machines thermodynamique - cf. Méthode Th-BCE section 8.23

Des paramètres complémentaires conventionnels sont également fournis en sortie d'IdCET.

Les modalités de calculs de l'outil IdCET sont décrites dans ce document.

9.22.1.1 *Domaine d'application*

IdCET ayant pour but de fournir des paramètres pour la méthode Th-BCE, seules les machines thermodynamiques décrites dans la méthode Th-BCE sont traitées. Il s'agit des CET sur air extérieur, air ambiant, air extrait et sur eau de nappe et dont les essais selon la NF EN 16147 sont effectués en fonctionnement thermodynamique pur, a minima pour les étapes C, D, E et F. IdCET exclut les essais de CET avec fonctionnement de l'appoint.

Dans ce cadre, tous les résultats issus des essais certifiés NF EN 16147 peuvent être utilisés pour calculer les paramètres Th-BCE correspondants.

9.22.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 305 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de d'identification de l'ECS thermodynamique.

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Plage de saisie[12]
	Id_{cycle}	Type de cycle de soutirage choisi pour l'étape C de la norme NF EN 16147 0- Cycle S 1- Cycle M 2- Cycle L 3- Cycle XL 4- Cycle XXL	-	[0,4]
	V_{tot}^{IdCET}	Volume du ballon	L	]0,+∞[
Résultats d'essais NF EN 16147	t_h	Durée de mise en température	h	]0,48]
	P_{es}	Puissance absorbée en régime stabilisé	W	]0,+∞[
	COP_{DHW}	Coefficient de performance sur la totalité du cycle de soutirage choisi	-	]0,+∞[
	θ'_{WH}	Température d'eau chaude de référence	°C	]0,+∞[

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	
$Type_{source\_chaleur}$	Type des systèmes thermodynamiques en fonctionnement ECS : 0 : Pompe à chaleur sur l'air extérieur (placée à l'intérieur) 1 : Pompe à chaleur sur l'air extérieur (placée à l'extérieur) 2 : Air intérieur 3 : Air extrait 4 : Eau	entier	-
Is_{aux}	Auxiliaires du générateur thermodynamique pris en compte dans les essais ? 0- Non 1- Oui	entier	

Sorties

Nom	Description	Unité	Valeur conventionnelle

[12] Les plages sont des exigences minimales de saisie, et leur respect à lui seul ne garantit donc pas le bon fonctionnement du composant. Seuls des paramètres issus d'essais certifiés EN NF 16147 le garantissent. Toute réclamation doit donc fournir le PV d'essais (potentiellement anonyme) à l'appui.

Paramètres d'entrée Th-BCE	$(UA)_{s\_util}$	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	-
	$ValCOP_{pivot}$	Valeur pivot de la matrice des coefficients de performance	-	-
	$ValPabs_{pivot}$	Valeur pivot de la matrice des puissances absorbées	kW	-
	$T_{aux}^{Th\text{-}BCE}$	Part de la puissance électrique des auxiliaires dans la puissance électrique totale	entier	-
	{ValECS(Icol,Ilign)}	Matrice des performances en mode ECS selon les températures amont et aval	-	{$ValCOP_{pivot}$}
	{ValPabs(icol,Ilign)}	Matrice des puissances absorbées selon les températures amont et aval	-	{$ValPabs_{pivot}$}
	{ValCOR(Icol,Ilign)}	Matrice de correction des performances justifiées entrées sous forme de matrice	-	-
	Fonc_compr	1 : Fonctionnement en mode continu du compresseur ou en cycles marche arrêt 2 : Fonctionnement en cycles marche arrêt du compresseur	entier	2
	Statut_donnees	1 : il existe des valeurs de performance certifiées ou mesurées 2 : il n'existe aucune valeur certifiée ou mesurée	entier	
	Statut_donnée_UA	La valeur du coefficient de pertes thermiques du stockage vers l'ambiance est une donnée 0 - Certifiée 1 - Justifiée par un essai effectué par un laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO 2 - par défaut	entier	
	Statut_Taux	La part de la puissance électrique des auxiliaires de la pompe à chaleur dans la puissance électrique totale 0 - Certifiée 1 - Justifiée 2 - par défaut	entier	
	$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage 0. *Ballon base sans appoint* 1. *Ballon base plus appoint intégré* 2. *Ballon base plus appoint dans stockage séparé* 3. *Ballon base plus appoint séparé instantané* *4-SSC avec appoint chauffage par système indépendant* *5- SSC avec appoint chauffage raccordé à l'assemblage*	Ent.	0
	$\Delta\theta_{base}$	Hystérésis du système de régulation de la base	K	2
Autres paramètres	*Syst_Thermo_ECS*	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement ECS : 1 : PAC air extérieur / eau 2 : PAC air extrait / eau 3 : PAC air ambiant / eau 4 : PAC eau de nappe / eau	entier	
	Sys_thermo_ds	Liste des systèmes thermodynamiques en fonctionnement ch+ECS : 1 : PAC air extérieur / eau 2 : PAC eau de nappe/eau	entier	

	3 : PAC eau glycolée/eau	
$id_{fluide\text{-}amont}$	Type de fluide amont du générateur : *1 : Eau* *2 : Air* *3 : Autre fluide.*	Entier
$id_{amont\text{-}air\text{-}type}$	Type de source amont air du générateur : *1 : Air extérieur,* *2 : Air ambiant de volume non-chauffé,* *3 : Air extrait.*	Entier

Variables internes

Nom	Description	Unité
$Id_{étape\_norme}$	Numéro de l'étape de la norme NF EN 16147 (0-étape C / 1-étape D / 2-étape E / 3-étape F)	-
Q_{TC_int}	Energie calorifique utile totale pendant la totalité du cycle de soutirage, valeur intermédiaire	Wh
$W_{EL\text{-}HP\text{-}TC\_int}$	Consommation d'énergie électrique totale de la pompe à chaleur pendant la totalité du cycle de soutirage, valeur intermédiaire	Wh
$Q_{TC}^{Th\text{-}BCE}$	Energie calorifique utile totale pendant la totalité du cycle de soutirage, calculée par Th-BCE	Wh
$W_{EL\text{-}HP\text{-}TC}^{Th\text{-}BCE}$	Consommation d'énergie électrique totale de la pompe à chaleur pendant la totalité du cycle de soutirage, calculée par Th-BCE	Wh
$Durée_{étapeC}$	Durée de l'étape C de la norme NF EN 16147	h
$Durée_{étapeD}$	Durée de l'étape D de la norme NF EN 16147	h
$Durée_{étapeE}$	Durée de l'étape E de la norme NF EN 16147	h
nb_{cycle_MA}	Nombre de cycle marche-arrêt de la pompe à chaleur durant l'étape D de la norme NF EN 16147	-
t_{TTC}	Durée du cycle d'essai (étape E de la norme NF EN 16147)	h
$t_h^{Th\text{-}BCE}$	Durée de mise en température, calculée par Th-BCE	h
$W_{es}^{Th\text{-}BCE}$	Energie absorbée pendant le dernier cycle marche/arrêt de la pompe à chaleur de l'étape D, calculée avec Th-BCE.	Wh
$P_{es}^{Th\text{-}BCE}$	Puissance absorbée en régime stabilisé, calculée avec Th-BCE.	W
$t_{es}^{Th\text{-}BCE}$	Durée d'un cycle marche/arrêt (période comprise entre le dernier et l'avant-dernier arrêt du compresseur) de la pompe à chaleur pour déterminer la puissance absorbée de réserve	h
$Q_{cons}(h)$	Energie consommée par le compresseur de la pompe à chaleur au pas de temps *h*	Wh
$Q_{cons}(h\text{-}1)$	Energie consommée par le compresseur de la pompe à chaleur au pas de temps *h-1*	Wh
$R_{fonctecs}(h)$	Temps de fonctionnement à charge maximale utilisé pour l'ECS	-
nbh_{fonct}	Nombre d'heure de fonctionnement du compresseur de la pompe à chaleur durant la mise en température du ballon (étape C)	h
LR	Taux de charge de la pompe à chaleur	-
$Q_{w\_int}(h)$	Besoins d'ECS intermédiaires	Wh/K

$\theta_{amb}(h)$	Température ambiante dans laquelle se trouve le système de production d'ECS	°C

Constantes

Nom	Description	Unité	Valeur
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

Tableau 305 : Nomenclature du modèle

9.22.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

9.22.3.1 ***Principe de l'outil IdCET***

IdCET est essentiellement constitué d'un algorithme itératif qui recherche le triplet de valeurs ($UA_{S,util}$, $ValCOP_{pivot}$, $ValPabs_{pivot}$) pour lequel le modèle Th-BCE de production d'ECS thermodynamique reproduit exactement les résultats d'essais. Le cycle de recherche de la solution, aussi appelé cycle de résolution peut être schématisé de la manière suivante :

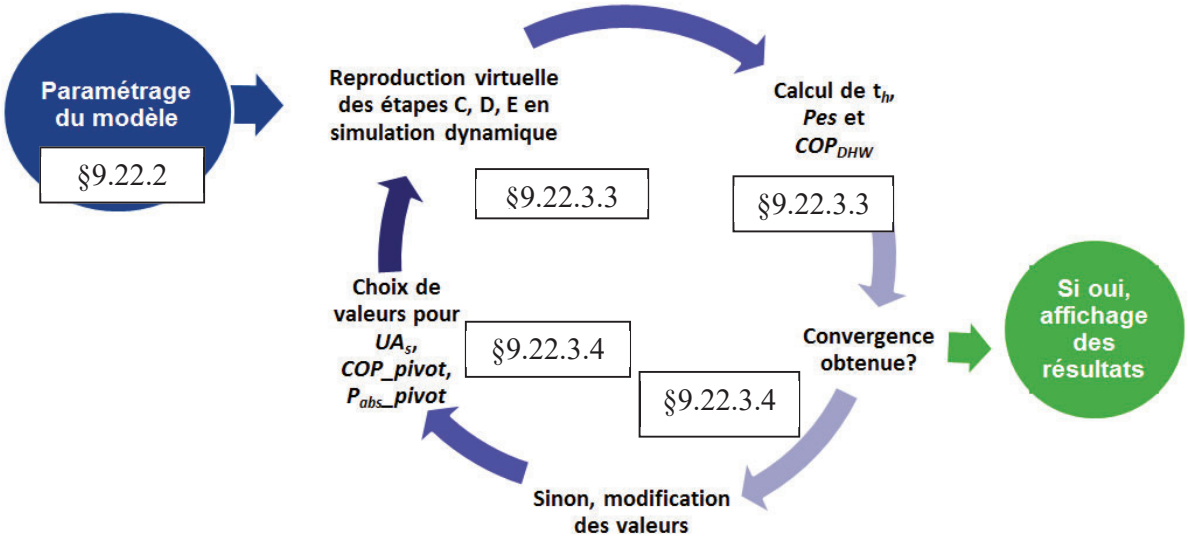


Figure 207 : cycle de résolution d'IdCET

Les étapes C, D et E sont reproduits de manière dynamique dans IdCET, tandis que le cycle F est utilisé uniquement pour identifier la température d'eau chaude de référence θ'_{WH} à la température de consigne du ballon.

9.22.3.2 *Le paramétrage du modèle physique d'IdCET*

Bien que les modèles physiques de production d'ECS thermodynamique d'IdCET soient intégralement issus des règles Th-BCE, les conditions d'utilisation des modèles sont différentes des conditions Th-BCE. Par conditions d'utilisation, on entend :

1) L'environnement extérieur
2) Le bâti
3) Les besoins et profils de puisage d'ECS
4) Les paramètres d'intégration du système de production d'ECS

Les paragraphes ci-dessous décrivent les modifications faites aux règles Th-BCE pour l'outil IdCET. Lorsque ce n'est pas précisé, les hypothèses du moteur réglementaire Th-BCE sont reprises.

9.22.3.2.1 Environnement extérieur

Pour être conforme à la norme NF EN 16147, la température extérieure θ_{ext} et la température d'eau froide θ_{cw} du moteur de calcul sont supposées constantes :

$$\forall □, \theta_{ext}(□) = 7°C$$
$$\forall □, \theta_{cw}(□) = 10°C \quad (2279)$$

La correction due à l'altitude ne s'applique pas à ces températures.

9.22.3.2.2 Le bâti

La température du local dans lequel est situé la production d'ECS thermodynamique est figée, selon la configuration, à 15°C ou à 20°C.

Si $Type_{source\_chaleur}$ =2

$$\forall □, \theta_{amb}(□) = 15°C \quad (2280)$$

Si $Type_{source\_chaleur}$ ≠2

$$\forall □, \theta_{amb}(□) = 20°C$$

9.22.3.2.3 Les besoins d'ECS

Conventionnels dans la méthode Th-BCE, les besoins d'ECS doivent être, pour IdCET, strictement conformes aux puisages prévus dans la norme NF EN 16147.

Les besoins d'ECS peuvent être établis avant le calcul dynamique. On utilise la variable intermédiaire $Q_{w\_int}(h)$, exprimée en Wh/K, de la manière suivante :

$$Q_{w_{int}}(\square) = \rho_w * C_w * \left(a^{gr,em-e} * a\square(\square)\right) \quad (2281)$$

Etape C

L'étape C de la norme NF EN 16147 est la période de chauffe du ballon, initialement froid. Il n'y a pas de soutirages d'énergie dans le ballon (pas de besoins d'ECS) :

$$\left(a^{gr,em-e}\right)^{cycleA} = 0 \quad (2282)$$

Etape D

Pendant l'étape D, le ballon est en régime stabilisé, il n'y a pas de soutirages non plus, les besoins d'ECS sont nuls.

$$\left(a^{gr,em-e}\right)^{cycleB} = 0 \quad (2283)$$

Etape E

Les puisages d'ECS dans le ballon commencent à l'étape E de la norme NF EN 16147 en utilisant, au choix, l'un des cinq cycles de puisage suivants. Le choix est fait par l'utilisateur d'IdCET via le paramètre Id_{cycle}. Les profils ramenés au pas de temps horaires sont représentés ci-dessous.

Tableau 306 : Profil moyen de puisage journalier des cinq cycles (S, M, L, XL, XXL)

Profil de puisage de l'ECS		E de soutirage (en kWh) - cycle S	E de soutirage (en kWh) - cycle M	E de soutirage (en kWh) - cycle L	E de soutirage (en kWh) - cycle XL	E de soutirage (en kWh) - cycle XXL
De	à					
0	1	0	0	0	0	0
1	2	0	0	0	0	0
2	3	0	0	0	0	0
3	4	0	0	0	0	0
4	5	0	0	0	0	0
5	6	0	0	0	0	0
6	7	0	0	0	0	0
7	8	0,210	1,610	1,715	6,450	8,270
8	9	0,105	0,420	3,920	0,420	0,420
9	10	0,105	0,210	0,210	0,210	0,210
10	11	0,000	0,105	0,105	0,210	0,210
11	12	0,210	0,210	0,210	0,315	0,315
12	13	0,315	0,315	0,315	0,735	0,735
13	14	0	0	0	0	0
14	15	0	0,105	0,105	0,105	0,105
15	16	0	0,105	0,105	0,210	0,210
16	17	0	0,105	0,105	0,210	0,210
17	18	0	0	0	0,105	0,105
18	19	0,210	0,315	0,315	0,315	0,315
19	20	0	0,105	0,105	0,105	0,105
20	21	0,420	0,735	0,735	5,155	6,975
21	22	0,525	1,505	3,710	4,525	6,345
22	23	0	0	0	0	0
23	24	0	0	0	0	0

A partir de ces profils d'énergie normés, nous pouvons en déduire l'énergie totale puisée du cycle et le volume quotidien d'eau à 40°C noté $V_{40°C}$ (la température d'eau froide est figée à 10°C) :

Tableau 307 : Volume d'eau quotidien à 40°C, $V_{40°C}$

	E de soutirage (en kWh) - cycle S	E de soutirage (en kWh) - cycle M	E de soutirage (en kWh) - cycle L	E de soutirage (en kWh) - cycle XL	E de soutirage (en kWh) - cycle XXL
Energie totale du cycle (kWh/jour)	2,100	5,845	11,655	19,070	24,530
$V_{40°C}$ exprimé en L/d'eau à 40°C par jour	60,0	167,1	333,2	545,2	701,3

A partir de ces éléments, on calcule la clé de répartition horaire, notée $ah^{NF\_EN\_16147}$. Elle permet de traduire un besoin d'énergie quotidien en un besoin d'énergie horaire. Autrement dit,

$$ah^{NF\_EN\_16147}(h) = \frac{Q_w(h)}{\sum_{h=0}^{23} Q_w(h)} \qquad (2284)$$

Pour chacun des cinq cycles, la clé de répartition est la suivante (d'après la norme NF EN 16147, l'étape C commence au premier puisage du cycle) :

Tableau 308 : Clé de répartition $ah^{NF\_EN\_16147}$ du volume quotidien à chaque pas de temps

Tsimul	E de soutirage (en kWh) - cycle S	E de soutirage (en kWh) - cycle M	E de soutirage (en kWh) - cycle L	E de soutirage (en kWh) - cycle XL	E de soutirage (en kWh) - cycle XXL
1	0,100	0,275	0,147	0,338	0,337
2	0,050	0,072	0,336	0,022	0,017
3	0,050	0,036	0,018	0,011	0,009
4	0,000	0,018	0,009	0,011	0,009
5	0,100	0,036	0,018	0,017	0,013
6	0,150	0,054	0,027	0,039	0,030
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,018	0,009	0,006	0,004
9	0,000	0,018	0,009	0,011	0,009
10	0,000	0,018	0,009	0,011	0,009
11	0,000	0,000	0,000	0,006	0,004
12	0,100	0,054	0,027	0,017	0,013
13	0,000	0,018	0,009	0,006	0,004
14	0,200	0,126	0,063	0,270	0,284
15	0,250	0,257	0,318	0,237	0,259

A partir des deux éléments précédemment calculés ($V_{40°C}$ et $ah^{NF\_EN\_16147}$), on pose :

$$\begin{cases} a^{gr,em-e} = V_{40°C}^{NF\_EN\_16147} \\ ah(h) = ah^{NF\_EN\_16147}(h) \end{cases} \qquad (2285)$$

Note : la clé de répartition horaire et le volume d'eau chaude sont basés sur une journée (24h) et non sur la semaine comme pour les conventions réglementaires.

Besoins d'ECS horaires au cours de la simulation

Le besoin d'ECS intermédiaire pour chacune de ces étapes est alors calculé au pas de temps horaire à partir de la formule (2281) pour toute la durée de la simulation.

9.22.3.2.4 Le système de production d'ECS

Remarque : les numéros de paragraphe ci-dessous font référence à la méthode de calcul Th-BCE.

Le système de production d'ECS respecte la structure des règles Th-BCE c'est-à-dire qu'il possède une émission (§9.5), une distribution ECS du groupe (§9.7), une distribution intergroupe (§9.8) et une génération. Dans cette dernière, se trouve, pour l'ECS, un assemblage « ballon base seule » avec, pour générateur, une pompe à chaleur (PAC) à compression électrique.

Assemblage ballon base seule

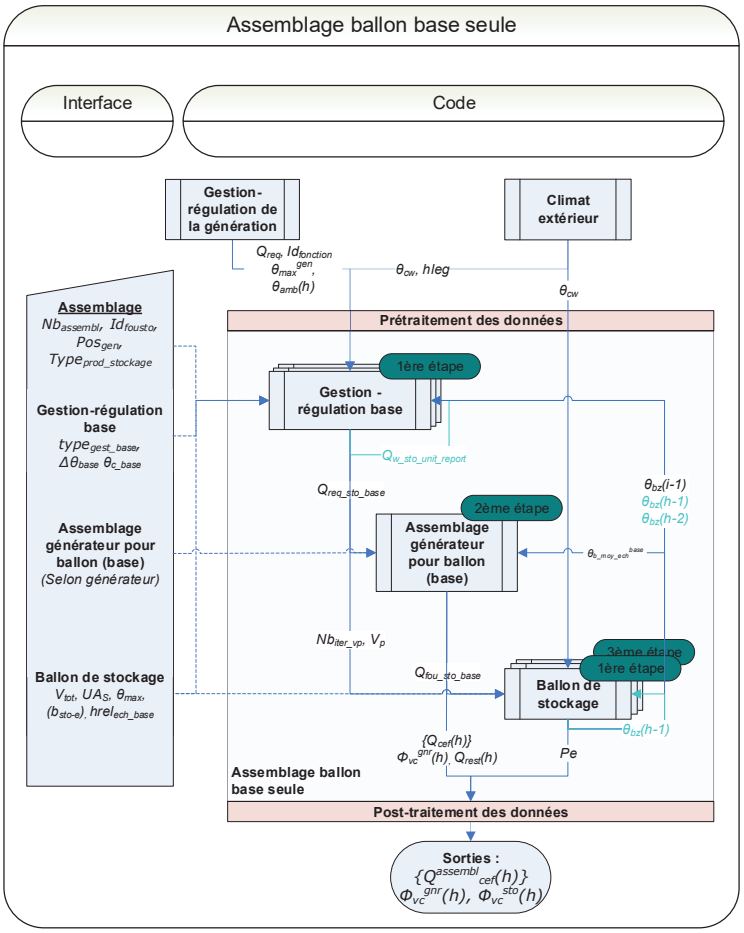


Figure 208 : assemblage ballon base seule Th-BCE

La valeur des paramètres de l'assemblage suivants sont imposées :

Nom	Description	Valeur IdCET
$Nb_{assemblage}$	Nombre d'assemblage identique « ballon base seule »	1
id_{fousto}	Fonction de l'élément de stockage (3-fonctionnement ECS)	3

$Type_{prod\_stockage}$	Type de production avec stockage (0-ballon base seule)	0

Distributions et émission d'ECS

Les besoins d'ECS sont, dans la norme NF EN 16147, des besoins de soutirage en entrée du ballon. Dans le modèle Th-BCE l'énergie requise au niveau du ballon est calculée de manière dynamique à partir d'un besoin à l'émission (lié à l'occupant) corrigé des pertes thermiques de distributions (§9.6de la méthode Th-BCE). Dans notre cas, les besoins à l'émission calculés dans ce document doivent être identiques à l'énergie de soutirage. Les pertes thermiques des distributions sont donc considérées comme nulles. Ceci est réalisé en annulant l'impact des émetteurs d'ECS.

Nom	Description	Valeur
$Rat_{eme}^{gr,em-e}$	Ratio de surface du groupe desservie par un émetteur ECS équivalent	1
Id_{corr}	Mode de calcul du coefficient correctif de l'émission équivalente d'ECS (=0 calcul détaillé / =1 calcul simplifié)	1
$Corr\_util^{gr,em-e}$	Valeur à saisir du coefficient correcteur	0

On met à 0 la longueur de distributions d'ECS. Ainsi les pertes thermiques de distributions sont nulles.

Nom	Description	Valeur IdCET
L_{vc_2nd-e}	Longueur totale du réseau de distribution d'ECS, interne au groupe, situé en volume chauffé divisée par nb_{dist_2nd-e}	0
L_{hvc_2nd-e}	Longueur totale du réseau de distribution d'ECS, interne au groupe, situé hors volume chauffé divisée par nb_{dist_2nd-e}	0

Et il n'y a pas de distribution collective dans l'objet « distribution intergroupe d'ECS »

Nom	Description	Valeur IdCET
$Type_{réseauintergroupe-e}$	Type du réseau de distribution intergroupe ECS (=0 si pas de réseau intergroupe /=1 si bouclé / =2 si tracé)	0

Ballon d'ECS

Le volume du ballon utilisé dans le moteur de calcul est saisi par l'utilisateur dans IdCET.

$$V_{tot}=V_{tot}^{IdCET} \quad (2286)$$

Comme expliqué au §9.22.3.1, la température de consigne du ballon est supposée égale à la température de l'eau chaude de référence saisie par l'utilisateur dans IdCET :

$$\theta_{c\_base} = \theta'_{wh} \quad (2287)$$

De fait, la valeur de UA_S est certifiée.

$$Statut_{données\_UA}=0 \quad (2288)$$

Les autres paramètres intrinsèques et d'intégration du modèle de ballon d'ECS prennent les valeurs suivantes :

Nom	Description	Valeur IdCET
$Type_{gest\_th\_base}$	Type de gestion du thermostat de base du ballon de stockage 0 - Chauffage permanent 1 - Chauffage de nuit	0
θ_{max}	Température maximale du ballon	90
z_{base}	Numéro de la zone du ballon qui le générateur de base	1
$h_{rel\_ech\_base}$	Hauteur relative de l'échangeur du générateur de base	0
$\delta\theta_{base}$	Hystérésis de régulation du générateur de base	2

Générateur thermodynamique et source amont

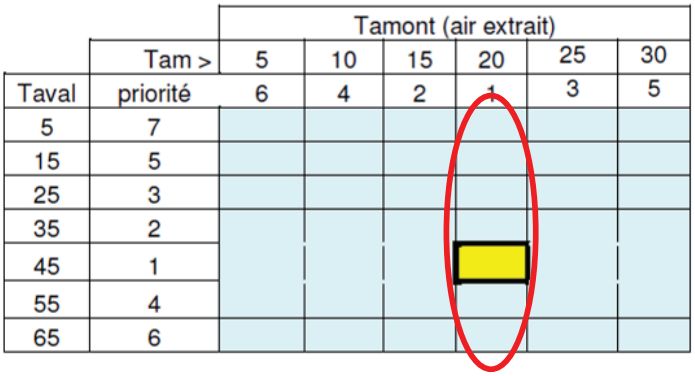
Le paramétrage du modèle de générateur thermodynamique est le suivant :

Nom	Description	Unité	Valeur IdCET
Id_{fougen}	Type de générateur : Chauffage = 1, froid = 2, ECS = 3	-	3
Fonc_compr	1 : Fonctionnement en mode continu du compresseur ou en cycles marche arrêt 2 : Fonctionnement en cycles marche arrêt du compresseur	entier	2
Statut_donnees	1 : il existe des valeurs de performance certifiées ou mesurées 2 : il n'existe aucune valeur certifiée ou mesurée	entier	1
Statut_Taux	La part de la puissance électrique des auxiliaires de la pompe à chaleur dans la puissance électrique totale 0 - Certifiée 1 - Justifiée 2 - par défaut	entier	0
Lim_Theta	0 = pas de limite 1= limite sur l'une **ou** l'autre des températures de source 2 = limite sur l'une **et** l'autre des températures de source	entier	0
Taux	Part de la puissance électrique des auxiliaires dans la puissance électrique totale	entier	0
Typo_emetteur	Inertie du système de distribution en fonction des émetteurs en chauffage, en refroidissement et pour la production d'ECS : 1 : forte : plancher ou plafond intégré au bâti, 2 : moyenne : radiateur, plafond d'inertie moyenne, 3 : légère : VCV, plancher et plafond d'inertie faible, 4 : très légère : systèmes à air, 5 : production d'ECS.	-	5
R_{dim}	Nombre de machines identiques dans le même mode	entier	1
Deq	Durée des irréversibilités	entier	0.5

Remarque importante :

Dans IdCET, il n'est pas utile de préciser le type de source amont ou la valeur de la température de source pour les raisons détaillées ci-dessous.

La température de source de la NF EN 16147 étant constante (7°C, 15°C ou 20°C), seule la colonne de la valeur pivot de COP (resp. *Pabs*) de la matrice caractérisant le générateur thermodynamique dans Th-BCE est utilisée.



		Tamont (air extrait)					
	Tam >	5	10	15	20	25	30
Taval	priorité	6	4	2	1	3	5
5	7						
15	5						
25	3						
35	2						
45	1						
55	4						
65	6						

Or, d'après la méthode Th-BCE, les valeurs de températures aval ainsi que les coefficients *Cnnav* pour le *COP* (resp. *Pabs*) sont identiques pour toutes les pompes à chaleur ECS. Autrement dit, à partir d'une même valeur pivot, le remplissage de la colonne est identique quel que soit la valeur de la température de la source froide.

Quelle que soit la source amont,

$$ValECS\_{pivot} = COP\_{pivot}$$
$$ValPabs\_{pivot} = Pabs\_{pivot} \quad (2289)$$

La puissance des auxiliaires des sources amont (ventilateurs de gaine, pompe de captage ou autre) est nulle.

9.22.3.3 *Le calcul dynamique*

Une fois le modèle paramétré et le profil des besoins établi pour les différentes étapes de la norme, les calculs sont effectués dynamiquement au pas de temps horaire. Ce paragraphe détaille le calcul dynamique du triplet de valeurs ($t_h^{Th\text{-}BCE}$, $P_{ES}^{Th\text{-}BCE}$, $COP_{DHW}^{Th\text{-}BCE}$) associées à chacune des trois étapes de la norme NF EN 16147 reproduites dans Th-BCE, à partir du triplet de paramètres d'entrée ($UA_{S,util}$, $ValCOP_{picot}$, $ValPABS_{pivot}$). On rappelle que c'est ce calcul qui sera appelé plusieurs fois jusqu'à ce qu'un triplet de paramètres d'entrée ($UA_{S,util}$, $ValCOP_{picot}$, $ValPABS_{pivot}$) donne un résultat ($t_h^{Th\text{-}BCE}$, $P_{ES}^{Th\text{-}BCE}$, $COP_{DHW}^{Th\text{-}BCE}$) identique aux résultats d'essais.

Chacune des valeurs ($t_h^{Th\text{-}BCE}$, $P_{ES}^{Th\text{-}BCE}$, $COP_{DHW}^{Th\text{-}BCE}$) est calculée séparément. Par commodité, on appelle f_{th}, f_{PES}, f_{COP} chacune des trois fonctions qui calcule les trois précédentes valeurs.

9.22.3.3.1 Initialisation

La simulation commence toujours par l'étape A (numérotée 0).

$$id_{étape\_norme} = 0 \quad (2290)$$

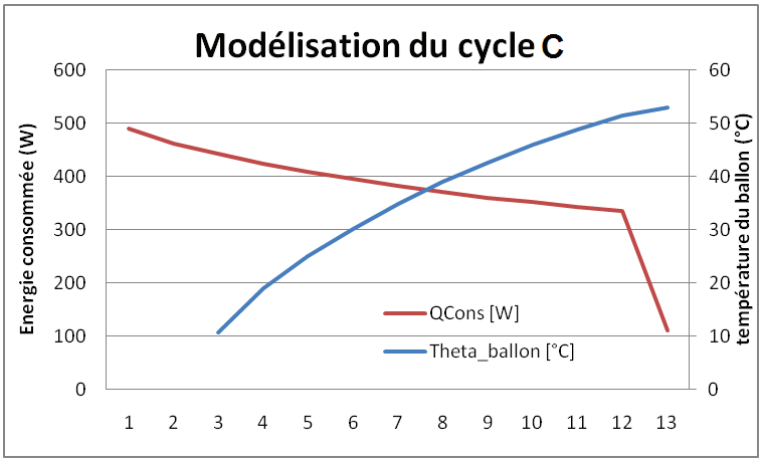
9.22.3.3.2 Etape C : fonction f_{th}

Cette étape correspond à la montée en température du ballon d'ECS. Pour modéliser cela dans l'outil IdCET, les températures du ballon sont, au début du premier pas de temps, initialisées à 10°C (température de l'eau froide).

$$\forall z, \theta_{bz}^{init} = 10°C \quad (2291)$$

Fin de l'étape C : En début de simulation, le compresseur de la machine thermodynamique s'enclenche pour réchauffer le ballon jusqu'à sa température de consigne. IdCET plafonne à 48h la durée maximale de montée en température du ballon.

Comme mentionné plus haut, le compresseur fonctionne en cycles marche/arrêt. Il fonctionne donc à pleine charge un certain nombre d'heures entières puis, a priori, à « charge partielle » sur le dernier pas de temps de chauffage. Sur l'exemple suivant, on voit sur le dernier pas de temps de chauffe que l'énergie consommée au cours de ce pas de temps est plus faible.



Etant en cycles marche/arrêt, cette « charge partielle » du compresseur est en réalité une pleine charge sur une *fraction d'heure*. Le ratio de fonctionnement, noté $Rat_{foncECS}$ est donc en réalité

cette *fraction d'heure* qui nous permet de calculer une durée *non entière* de temps de chauffe en heures, et ceci bien que le moteur soit horaire.

On retranche donc au nombre total de pas de temps de chauffe (13 sur cet exemple), la durée pendant laquelle le compresseur n'a pas fonctionné (1-$Rat_{foncECS}$) au dernier pas de temps. Le Q_{req} correspond à l'énergie requise aux bornes de la pompe à chaleur.

Initialisation

$$Nbh_{fonct}(h)=0 \quad (2292)$$

Si $Q_{req}(h)>0$

Tant que LR=100%,

$$Nbh_{fonct}=Nbh_{fonct}(h-1)+1$$

Si LR<100%,

$$Nbh_{fonct}=Nbh_{fonct}(h-1)+R_{fonctECS}(h) \quad (2293)$$

Sinon $Q_{req}(h)=0$

$$\begin{cases} t_h^{Th-BCE} = nbh_{fonct} \\ id_{étape\_norme} = 1 \end{cases}$$

La durée de mise en température du ballon calculée avec Th-BCE, notée $t_h^{Th\text{-}BCE}$, est alors connue.

9.22.3.3.3 Etape D : fonction f_{PES}

L'étape D, telle que décrite dans la norme NF EN 16147, correspond à un régime stabilisé. La pompe à chaleur compense uniquement les pertes thermiques du ballon.

Initialisation

$$\begin{cases} t_{es} = 0 \\ W_{es} = 0 \\ nb_{cycle\_MA} = 0 \\ Durée_{étapeB} = 0 \end{cases} \quad (2294)$$

A chaque pas de temps h de l'étape D $(id_{étape\_norme} = 1)$

Si ($Durée_{étapeD}$ <48 et nb_{cycle_MA}<6),

Lorsque $Q_{cons}(h-1) \neq 0$ et $Q_{cons}(h) = 0$

$$\begin{cases} nb_{cycle\_MA} = nb_{cycle\_MA} + 1 \\ t_{es} = 0 \\ W_{es} = 0 \end{cases} \quad (2295)$$

Sinon

$$\begin{cases} Durée_{étapeD} = Durée_{étapeD} + 1 \\ t_{es} = t_{es} + 1 \\ W_{es} = W_{es} + Q_{cons}(h) \end{cases}$$

Sinon

$$\begin{cases} id_{étape\_norme} = 2 \\ P_{es}^{Th-BCE} = \dfrac{W_{es}(h-1)}{t_{es}(h-1)} \end{cases} \quad (2296)$$

P_{es} est exprimée en W.

9.22.3.3.4 Etape E : fonction f_{COP}

Avant de commencer l'étape E, le ballon est à la température de consigne. L'étape C débute toujours à 7h00 du matin par le premier puisage du cycle choisi (XS, S, M, L ou XL caractérisé par la variable Id_{cycle}).

La durée du cycle E, variable selon les configurations et d'un minimum de 24h, est notée *Tttc*. Pour la fin du cycle E, on distingue deux configurations (cf. norme NF EN 16147, §6.5.2). 24h après le début du cycle E :

- si le compresseur est en train de fonctionner (pour compenser les pertes du ballon, donc, puisqu'il n'y a plus de puisages), on attend qu'elle s'arrête et le cycle E s'arrête ;
- si le compresseur n'est pas en train de fonctionner, on attend sa remise en marche, puis son arrêt.

Pour résumer, le cycle E s'arrête après la dernière mise en route de la PAC, 24h au moins après le début du cycle E. Les algorithmes sont les suivants :

Initialisation

$$\begin{cases} Durée_{étapeE} = 0 \\ Q_{TC\_int} \\ W_{EL-HP-TC\_int} \\ \theta_{bz}^{init} = \theta_{c\_base}\{ \end{cases} \quad (2297)$$

A chaque pas de temps *h* de l'étape E $(id_{étape\_norme} = 2)$

Si $Durée_{étapeE}$ <24 (2298)

$$\begin{cases} Durée_{étapeE} = Durée_{étapeE} + 1 \\ Q_{TC_{int}} = Q_{TC_{int}} + Q_{req_{ecs}}(h) \\ W_{EL-HP-TC_{int}} = W_{EL-HP-TC_{int}} + Q_{cef\ (ecs,élec)}(h) \end{cases}$$

Si $Durée_{étapeE} \geq 24$

Si $Q_{cons}(h-1) \neq 0$ et $Q_{cons}(h)=0$,

$$\begin{cases} t_{TTC} = Durée_{étapeE} \\ Q_{TC}^{Th-BCE} = Q_{TC\_int} \\ W_{EL-HP-TC}^{Th-BCE} = W_{EL-HP-TC\_int}\{ \end{cases}$$

et $id_{étape\_norme} = 3$

Sinon

$$\begin{cases} Durée_{étapeE} = Durée_{étapeE} + 1 \\ QreqTC\_int_{TC\_int}\{ \end{cases}$$

Le COP_{DHW} s'exprime alors ainsi :

$$COP_{DHW}^{Th-BCE} = \frac{Q_{TC}^{Th-BCE}}{W_{EL-HP-TC}^{Th-BCE} + (24 - t_{TTC}) * P_{es}^{Th-BCE}} \qquad (2299)$$

9.22.3.4 *Méthode d'identification des paramètres*

Par commodité, on prend la notation suivante : on définit la fonction $\vec{F}$ par

$$\vec{F}: \begin{cases} \Re^3 & \rightarrow & \Re^3 \\ (UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}) & \rightarrow & (t_h^{Th-BCE}, P_{ES}^{Th-BCE}, COP_{DHW}^{Th-BCE}) \end{cases} \qquad (2300)$$

Chacune des composantes de $\vec{F}$ étant calculée par les trois fonctions f_{th}, f_{PES} et f_{COP} détaillées dans la section 9.22.3.3.

L'objectif est de déterminer le triplet $(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot})$ pour lequel

$$\vec{F}(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}) = (t_h, P_{ES}, COP_{DHW}) \qquad (2301)$$

Pour se faire, on définit la fonction de $\Re^3$ dans $\Re$ suivante :

$$\epsilon(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}) = \left\| \frac{\vec{F}(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}) - (t_h, P_{ES}, COP_{DHW})}{(t_h, P_{ES}, COP_{DHW})} \right\| \qquad (2302)$$

Le symbole $\| \ \|$ désigne la norme 2 sur $\Re^3$. La division, qui doit être comprise comme une division composante à composante, permet d'adimensionner le résultat. Nous allons mettre en œuvre un algorithme qui détermine le zéro de la fonction ϵ. Ce zéro correspond bien à des valeurs de $(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot})$ pour lesquelles on reproduit les résultats de l'essai NF EN

16147.

On remarque que les valeurs prise par la fonction ϵ sont toutes positives. Par conséquent, le zéro de la fonction ϵ correspondant également à son minimum *global*, supposé unique. La fonction ϵ ayant une forme extrêmement complexe, il est plus aisé de cherche son minimum global qu'un zéro. On utilise l'algorithme reconnu de Nelder-Mead (cf. Ref (1)), qui permet de trouver des minimums *locaux* de fonctions de $\Re^n$ dans $\Re$. On impose comme condition d'arrêt que les différents points tests soient distants de moins de 10^{-9}. Toutefois, à ce stade, rien ne nous assure que le minimum ne soit pas que *local* alors que nous cherchons un minimum *global*. On rajoute alors une autre condition :

$$\epsilon\left(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}\right) < 10^{-4} \quad (2303)$$

Si cette condition est atteinte lorsque l'algorithme de Nelder-Mead trouve une solution, on considère que le minimum local *est* global. Sinon, *une nouvelle condition de départ **aléatoire** est donnée à l'algorithme pour relancer un calcul*. Cet aléatoire explique que la durée de calcul puisse varier d'un calcul à un autre à paramètres identiques. Toutefois, **la convergence vers l'unique triplet résultat est assurée par la double condition de convergence**.

Remarque :

L'algorithme de Nelder-Mead explore différentes solutions tests jusqu'à déterminer la solution finale. Durant cette exploration, le processus mathématique peut explorer des triplets de valeurs $\left(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot}\right)$ absurdes. Par absurde, on entend :

- un des membres au moins du triplet est négatif ;
- le triplet ne permet pas au ballon de se réchauffer en moins de 48h lors de l'étape C (souvent lié à un produit $ValCOP_{pivot}, \times ValPABS_{pivot}$ trop petit) ;
- le triplet de permet d'effectuer un cycle marche/arrêt complet lors de l'étape D (souvent lié à un $UA_{S,util}$ trop petit) ;
- le triplet ne permet pas au compresseur de s'arrêter au moins une fois dans les 48h après la fin du puisage de l'étape E (souvent lié à un produit $ValCOP_{pivot}, \times ValPABS_{pivot}$ trop petit).

Dans ces cas, la fonction ϵ renvoie artificiellement une valeur seuil prise forfaitairement à 100.

9.22.3.5 *Les sorties d'IdCET et les entrées de Th-BCE*

En plus des trois variables identifiées précédemment $(UA_{S,util}, ValCOP_{pivot}, ValPABS_{pivot})$, l'utilisation d'IdCET pour évaluer les performances d'un chauffe-eau thermodynamique conditionne le jeu de données d'entrée du moteur Th-BCE.

9.22.3.5.1 La puissance des auxiliaires de la pompe à chaleur

La puissance des auxiliaires de la pompe à chaleur dans l'outil IdCET est supposée nulle ($T_{aux} = 0$). Par contre, dans le moteur de calcul Th-BCE, la prise en compte des auxiliaires dépend des résultats d'essais. La variable de sortie d'IdCET nommée T_{aux}^{Th-BCE} prend la valeur suivante :

Si Is_{aux}=0 (les auxiliaires ne sont pas pris en compte dans les résultats d'essais)

$$T_{aux}^{Th-BCE} = 0.02 \quad (2304)$$

Si Is_{aux} =1 (les auxiliaires sont pris en compte dans les résultats d'essais)

$$T_{aux}^{Th-BCE} = 0 \quad (2305)$$

9.22.3.5.2 Statut des sorties d'IdCET

Enfin, les sorties de calcul d'IdCET sont supposées être de même nature que les données d'entrée de ce calcul :

Si t_h, P_{es} , COP_{DHW} , θ'_{WH} sont certifiées par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation :

Pour COP_{pivot} et $Pabs_{pivot}$

Statut_donnees=certifiées (2306)

Pour UA_{S_util} :

Statut_donnée_UA=0

Pour T_{aux} :

Si Is_{aux}=0,

Statut_Taux=2 (valeur par défaut de Th-BCE) (2307)

Si Is_{aux}=1,

Statut_Taux=0 (voir valeur de Taux au §9.22.3.5.1)

Si t_h, P_{es} , COP_{DHW} , θ'_{WH} sont justifiées par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation :

Pour COP_{pivot} et $Pabs_{pivot}$

Statut_donnees=justifiées (2308)

Pour UA_{S_util} :

$$Statut\_donnée\_UA=1$$

Pour T_{aux} :

Si $Is_{aux}=0$,

$$Statut\_Taux=2 \text{ (valeur par défaut de Th-BCE)} \quad (2309)$$

Si $Is_{aux}=1$,

$$Statut\_Taux=1 \text{ (voir valeur de Taux au §9.22.3.5.1)}$$

Note : la pénalisation des valeurs « justifiées » s'applique dans le moteur Th-BCE.

9.22.3.5.3 Les autres paramètres

Les équations ci-dessous établissent la correspondance entre la typologie des systèmes thermodynamiques de la norme NF EN 16147 et celle de la méthode Th-BCE.

Si $Type_{source\_chaleur}$ = 0 ou 1 (air extérieur),

$$\begin{cases} Syst\_Thermo\_ECS^{Th-BCE} = 1 \\ Id_{fluide\_amont} = 2 \\ Id_{amont-air-type} = 1 \end{cases} \quad (2310)$$

Si $Type_{source\_chaleur}$ = 2 (air ambiant),

$$\begin{cases} Syst\_Thermo\_ECS^{Th-BCE} = 3 \\ Id_{fluide\_amont} = 2 \\ Id_{amont-air-type} = 2 \end{cases} \quad (2311)$$

Si $Type_{source\_chaleur}$ = 3 (air extrait),

$$\begin{cases} Syst\_Thermo\_ECS^{Th-BCE} = 2 \\ Id_{fluide\_amont} = 2 \\ Id_{amont-air-type} = 3 \end{cases} \quad (2312)$$

Si $Type_{source\_chaleur}$ = 4 (eau),

$$\begin{cases} Syst\_Thermo\_ECS^{Th-BCE} = 4 \\ Id_{fluide\_amont} = 1 \end{cases} \quad (2313)$$

Le compresseur de la pompe à chaleur est supposé fonctionner en cycle marche-arrêt :

$$Fonc\_compr=2 \quad (2314)$$

Le volume du ballon est toujours celui saisi par l'utilisateur d'IdCET :

$$V_{tot}=V_{tot}^{IdCET} \quad (2315)$$

L'hystérésis de régulation du thermostat de la pompe à chaleur est égale à la valeur par défaut :

$$\delta\theta_{base}=2\ °C \quad (2316)$$

9.23 PR2_IdCESI_ Saisie des chauffe-eau solaires individuels (Kit CESI)

9.23.1 INTRODUCTION

Dans la présente méthode Th-BCE, les chauffe-eau solaires individuels peuvent être décrits en renseignant de façon séparée les caractéristiques de la boucle solaire et celles du ballon.

Toutefois, pour pouvoir utiliser le même modèle lorsque l'on a un chauffe-eau solaire caractérisé dans son ensemble (norme NF EN 12976), a présente partie permet (par un préprocesseur dénommé outil IdCESI) de calculer les paramètres d'entrée du modèle à partir des caractéristiques du chauffe-eau.

Cette fiche précise donc la saisie dans Th-BCE, via l'utilisation de l'outil IdCESI, des paramètres de performances thermiques des chauffe-eau solaires individuels fournis en Kit (Kit CESI).

IdCESI est un outil permettant de déterminer les paramètres d'entrée de la méthode de calcul Th-BCE des CESI à partir des paramètres identifiés, caractéristiques des CESI, obtenus à l'aide d'essais effectués selon la norme NF EN 12976-2 et la méthode d'essai DST de la norme ISO 9459-5.

Les systèmes couverts sont les chauffe-eau solaires individuels à circulation forcée.

Autrement dit, IdCESI sert de passerelle entre les paramètres identifiés, caractéristiques des CESI, déterminés par essais selon la norme NF EN 12976-2 et la méthode d'essai DST de la norme ISO 9459-5 et les paramètres d'entrée du moteur de calcul Th-BCE.

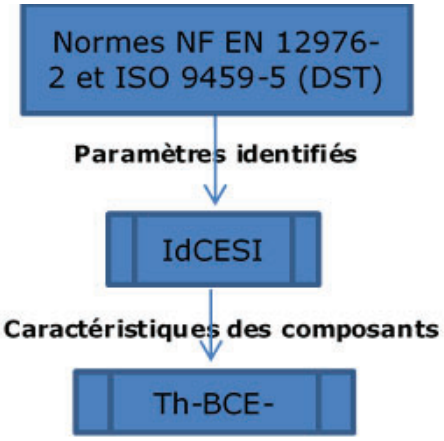


Figure 1

Figure 209 - principe de l'outil IdCESI

9.23.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 309 donne la nomenclature des différentes variables.

Entrées

Nom	Description	Unité	Min	Max	Défaut
A	Superficie de capteurs solaires (superficie d'entrée)	m²	*0*	*+ ∞*	-
V_{tot}	Volume du ballon	litres	*0*	*+ ∞*	-
P_{np}	Puissance nominale de la pompe	W	*0*	*+ ∞*	-
A_C*	superficie de captage équivalente du chauffe-eau solaire	m²	*0*	*+ ∞*	-
U_C*	coefficient de pertes de captage rapporté à la superficie équivalente de captage	W/(m².K)	*0*	*+ ∞*	-
C_S	capacité de stockage du chauffe-eau solaire	MJ/K	*0*	*+ ∞*	-
U_S	Coefficient de pertes de stockage du chauffe-eau solaire	W/K	*0*	*+ ∞*	-
f_{aux}	fraction effective concernée par l'appoint	-	*0*	*1*	-

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Défaut
$type_{CES}$	Type de chauffe-eau solaire 0- Ballon base solaire et appoint intégré 1- Chauffe-eau solaire répondant aux exigences de la norme 12976	-	0	1	-

Sorties

Nom	Description	Unité	Min	Max	Défaut
A	Superficie de capteurs solaires (superficie d'entrée)	m²	*0*	*+ ∞*	-
V_{tot}	Volume du ballon	litres	*0*	*+ ∞*	-
V_{ap}	Volume du ballon concerné par le système d'appoint	litres	*0*	*+ ∞*	-
η_0	Rendement optique d'un capteur solaire	-	*0*	*1*	-
a_1	Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire	W/(m².K)	*0*	*+ ∞*	-
a_2	Coefficient de pertes du deuxième ordre d'un capteur solaire	W/(m².K²)	*0*	*+ ∞*	-
$(UA)_{te}$	Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle primaire vers l'extérieur	W/K	*0*	*+ ∞*	-
$(UA)_{ti}$	Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle primaire vers l'intérieur du bâtiment	W/K	*0*	*+ ∞*	-
P_{np}	Puissance nominale de la pompe	W	*0*	*+ ∞*	-
$\Delta\theta_{reg}$	Valeur de réglage de la régulation	K	*0*	*+ ∞*	

Tableau 309 : Nomenclature des différentes variables du préprocesseur

9.23.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

9.23.3.1 ***Modalités d'essais de caractérisation d'un chauffe-eau solaire individuel***

Les méthodes d'essai normalisées des chauffe-eau solaires individuels, utilisées notamment dans le cadre de la certification des produits, proposent deux procédures permettant de déterminer leurs paramètres de performances thermiques. Les normes d'essai relatives à ces deux méthodes donnent respectivement le domaine d'application de chacune d'entre elles, à savoir :

- la caractérisation des produits assemblés à façon utilisent la norme NF EN 12977
- la caractérisation des produits préfabriqués en usine utilisent la norme NF EN 12976

Les résultats des essais menés sur des produits caractérisés selon la norme NF EN 12977 sont directement saisis dans la méthode Th-BCE.

Pour les produits caractérisés selon la norme NF EN 12976, l'outil IdCESI, dont l'utilisation est décrite ci-après, permet la saisie dans la méthode Th-BCE.

9.23.3.2 ***Utilisation de l'outil IdCESI***

9.23.3.2.1 L'outil IDCesi

L'outil IdCESI est livré sous deux formats :

- un cœur de calcul sous licence d'utilisation gratuite (sans interface utilisateur) pour intégration dans les logiciels ;
- une interface WEB en libre accès - http://www.dimn-cstb.fr/idcesi/

9.23.3.2.2 Les entrées d'IdCESI

Quel que soit le format de l'outil IdCESI, les paramètres à saisir sont les mêmes. IdCESI demande à l'utilisateur de renseigner, à partir des résultats d'essai d'un CESI selon les normes NF EN 12976-2 et ISO 9459-5 et éventuellement des calculs d'extrapolation, les paramètres suivants :

- *Vtot Volume total du ballon*
- *Pnp Puissance nominale de la pompe*
- *A Superficie des capteurs solaires (superficie d'entrée)*
- *AC* Superficie de captage équivalente du chauffe-eau solaire*
- *UC* Coefficient de pertes de captage rapporté à la superficie équivalente de captage*
- *US Coefficient de pertes de stockage du chauffe-eau solaire*
- *faux Fraction effective concernée par l'appoint*

Dans le cas d'un chauffe-eau solaire caractérisé dans son ensemble et répondant aux exigences de la norme EN 12976 ($Type_{CES}$ = 1), l'assemblage va être strictement identique au ballon base seule solaire avec appoint intégré mais avec les paramètres d'entrée suivants :

$$A = A \quad (2317)$$

$$V_{tot} = V_{tot} \quad (2318)$$

$$P_{np} = P_{np} \quad (2319)$$

$$\eta_0 = A_C*/(0{,}8\ A) \quad (2320)$$

$$a_1 = U_C*.\eta_0 \quad (2321)$$

$$a_2 = 0 \quad (2322)$$

$$(UA)_{te} = 0 \quad (2323)$$

$$(UA)_{ti} = 0 \quad (2324)$$

$$(UA)_S = U_S \quad (2325)$$

$$V_{ap} = V_{tot}.f_{aux} \quad (2326)$$

$$\Delta\theta_{reg} = 2 \quad (2327)$$

Les autres paramètres du modèle de chauffe-eau sont des valeurs conventionnelles ou les valeurs par défaut.

9.23.3.2.3 Les sorties d'IdCESI

L'outil IdCESI calcule les données d'entrée du moteur de calcul Th-BCE:

Composant Ballon de stockage

- *Vtot Volume total du ballon*
- *faux Fraction effective concernée par l'appoint*
- *(UA)S Coefficient de pertes du ballon de stockage W/K*

Composant Boucle solaire

- A *Superficie des capteurs solaires (superficie d'entrée)*
- *Pnp Puissance nominale de la pompe*
- *η0 Rendement optique d'un capteur solaire*
- *a1 Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire*
- *a2 Coefficient de pertes du deuxième ordre d'un capteur solaire*
- *(UA)te Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle primaire vers l'extérieur*
- *(UA)ti Coefficient de pertes des tuyauteries de la boucle primaire vers l'intérieur du bâtiment*
- *Kθ Facteur d'angle d'incidence*

L'outil IdCESI peut être vu comme un préprocesseur du moteur de calcul Th-BCE. A ce titre, les sorties de calcul d'IdCESI sont directement utilisées comme paramètres d'entrée de Th-BCE. Ce paragraphe explicite le lien entre les deux outils.

9.23.3.2.4 Paramètres d'entrée de Th-BCE calculés par IdCESI et statut de ces paramètres

IdCESI n'est pas un outil de certification, le statut des données de sorties d'IdCESI est conforme au statut de ses données d'entrée. Compte tenu du domaine d'application, limité aux Kit CESI certifiés, les valeurs utilisées en sortie d'IdCESI sont considérées comme certifiées quand cette option est définie dans la méthode Th-BCE

9.24 FA_Bâtiments non équipés de production d'eau chaude sanitaire

9.24.1 INTRODUCTION

Cette partie présente la méthode de prise en compte d'un système conventionnel de production d'eau chaude sanitaire pour les bâtiments non équipés de production d'eau chaude sanitaire.

9.24.2 CHAMP D'APPLICATION

Cette fiche est applicable pour les usages tertiaires suivants :
- Bureaux
- Enseignement primaire
- Enseignement secondaire partie jour

Cette fiche ne s'applique pas aux extensions.

9.24.3 PRISE EN COMPTE DANS LE CALCUL REGLEMENTAIRE

Pour ces bâtiments non équipés d'une production d'eau chaude sanitaire, la génération et l'émission en eau chaude sanitaire sont définies de manière conventionnelle :

9.24.3.1 *Génération ECS*

L'eau chaude sanitaire est produite par un ou plusieurs chauffe-eau électrique dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Nombre de chauffe-eau :
  - Pour les bâtiments de moins de 750m² S_{REF}: 1 chauffe-eau, quel que soit le nombre d'étages
  - Pour les bâtiments de plus de 750m² S_{REF} : 1 chauffe-eau par niveau et par tranche de 750m² à l'intérieur d'un niveau
- Capacité : 15L, pertes par défaut pour un chauffe-eau électrique vertical de volume inférieur à 75L ($Qpr=0.1474+0.0719.V^{2/3}$)
- Température maximale du ballon : par défaut,
- Hystérésis du ballon : 5°C
- Hauteur de l'échangeur : 0.3
- Chauffage permanent du ballon

9.24.3.2 *Emission ECS*

Au niveau de l'émission, sont pris en compte :

- Des appareils sanitaires de type « douche »
- Les émetteurs en eau chaude sanitaire du projet (s'il y en a) ou des émetteurs de type « mitigeur mécanique économe » s'il n'y en a pas dans le projet

10. DEPLACEMENT DES OCCUPANTS À L'INTÉRIEUR DU BÂTIMENT

10.1 C_Bat_Ascenseurs

10.1.1 INTRODUCTION

La présente partie calcule la consommation électrique annuelle des ascenseurs (une unique cabine ou un ensemble de cabines) dans un bâtiment. Puis, un module de post-traitement en dérive le profil horaire de consommation électrique pour chaque cabine d'ascenseur.

La méthode est structurée autour de :

- une description technologique de chaque cabine d'ascenseur qui comprend la description du scénario de mise en veille. Il peut y avoir plusieurs cabines dans le bâtiment ;
- une estimation du nombre de voyages par an pour tout le bâtiment (le bâtiment peut être multizone) ;
- une estimation du nombre de voyages par an et par cabine ;
- une modélisation de l'usage moyen annuel en termes de nombre de démarrages et de courses moyennes ;
- un calcul de la consommation électrique totale annuelle par cabine, découpé en une phase de mobilité et une phase d'immobilité ;
- une distribution de la consommation électrique annuelle en consommations horaires à l'aide de l'introduction d'une caractéristique de mobilité par zone et reprenant les formats de description des scénarios d'usage de la méthode Th-BCE.

Plus précisément pour chaque ascenseur présent dans le bâtiment, l'utilisateur renseigne :

- TechMac : typologie d'ascenseur (quatre technologies sont disponibles dont une technologie par défaut (« Autre ») ;
- Q : la masse utile de la cabine, au sens de EN81-1 ;
- V : la vitesse nominale, au sens de EN81-1 ;
- H : la course de la machine qui peut le cas échéant inclure un ou plusieurs sous-sols ;
- netage : le nombre d'étages desservis. Si la cabine dessert un R+4 sans niveau de sous-sol netage = 4 ; si la cabine dessert en R+4 avec un niveau de sous-sol netage = 5 ;
- Cp : l'équilibrage de la machine (caractérisant la masse du contrepoids) dont une valeur par défaut est disponible ;
- ScVeille : Scénarisation de la mise en veille de la cabine, par défaut cette veille n'existe pas ;
- C : la connectivité des cabines avec chaque zone du bâtiment (c'est-à-dire, si la cabine dessert ou pas les zones).

La méthode calcule les sorties suivantes :

- la consommation électrique annuelle en énergie finale pour chaque cabine ainsi que sa décomposition en deux postes de consommation : mobilité et immobilité ;
- la puissance active moyenne horaire par cabine et par zone ;
- le nombre estimé de démarrages par an ;
- la durée en moyenne par jour de mobilité.

Elle ne prend pas en compte les consommations (aéraulique et éclairage) associées au conduit ;

10.1.2 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

C_EIN_Scénarios conventionnels

Nom	Description	Unité
$Usage_z$	Type d'usage de la zone n°z	-
$N^{l}occ\_nom$	Densité du local n°l	-
Nadeq	Nombre d'adulte équivalent (typologie logement)	-
Rat^{l}_{loc}	Ratio de surface utile du local l/surface utile de la zone	-
p^{a}_{occ}	Indicateur d'occupation de la zone par mois semaine	-
p^{s}_{occ}	Indicateur d'occupation de la zone par semaine heure	-
t^{a}_{occ}	Facteur correctif du taux d'occupation du local par mois semaine	-
t^{s}_{occ}	Facteur correctif du taux d'occupation du local par jour heure	-
Uk	Tableau (vecteur de 365 x 24 composante scalaire) décrivant la mobilité des cabines induite par la zone k	
Az	Surface de la zone n°z du bâtiment	m^2

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
TechMac	Type de technologie : 0 -> « Traction avec réduction » 1 -> « Traction sans réduction » 2 -> « Hydraulique » 3 -> « Autre »	-	0	3	
Q	Charge utile de la cabine	kg	75	+ ∞	
V	Vitesse nominale de la cabine	m/s	0	2,5	
Cp	Équilibrage de la cabine Si TechMac = 2 -> « Hydraulique » Alors Cp = -1,2	-	-1,2	0,5	
ScVeille	Le scénario de mise en veille est connu (0 -> non ou 1 -> oui)	-	0	1	
Pti	Puissance totale (alimentation auxiliaire et principale) de veille (cabine immobile) telle que mesurée après la fermeture des portes	W	0	+ ∞	
dP1	Premier décrément de la puissance totale alimentation auxiliaire et principale) de veille (cabine immobile)	W	0	+ ∞	
T1	Durée avant premier décrément de la puissance de veille à partir de la fermeture des portes	s	0	+ ∞	

dP2	Second décrément de la puissance totale (alimentation auxiliaire et principale) de veille (cabine immobile)	W	0	+ ∞
T2	Durée avant second décrément de la puissance de veille à partir du premier décrément de puissance de veille	s	0	+ ∞

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
H	Course de l'ascenseur	m²	0	+ ∞	
netage	Nombre d'étages desservis par l'ascenseur (ne compte pas le point bas, c'est-à-dire si R+4 sans sous-sol alors netage = 4 ; si R+4 avec sous-sol alors netage = 5)	-	2	+ ∞	
C	Listes des zones desservies par l'ascenseur	-	1	+ ∞	

Variables internes

Nom	Description	Unité
Ndem	Nombre de démarrages par an de la cabine d'ascenseur	-
a	Accélération moyenne en phase de démarrage et de freinage pour la cabine d'ascenseur	m/s^2
Ch	Coefficient de hauteur pour la cabine d'ascenseur	-
rg	Rendement global pour la chaine de traction de la cabine d'ascenseur	-
P	Masse à vide de la cabine (au sens de EN81-1) d'ascenseur	kg
G	Masse du contrepoids (au sens de EN81-1) pour l'ascenseur	kg
Mi	Masse d'inertie équivalente pour la cabine d'ascenseur	kg
Tmob	Durée de la mobilité dans l'année pour la cabine d'ascenseur	s
Timmob_n	Durée d'immobilité pendant la nuit pour la cabine d'ascenseur	s
Timmob_j	Durée d'immobilité pendant le jour pour la cabine d'ascenseur	s
X	Charge transportée par la cabine d'ascenseur par rapport à la charge nominale Q de la cabine d'ascenseur (si X = 0 -> cabine vide, si X = 1 -> cabine transportant sa capacité nominale Q)	-
Q	Masse utile affectée à la zone du bâtiment	kg
NB	Nombre de personnes maximum dans la zone	.
BV	Besoin de voyages par personne par an pour la zone	./p/an

BVNB	Besoin de voyages annuel du bâtiment affecté à la cabine d'ascenseur	/an
F(X)	Masse de la cabine de l'ascenseur avec une charge transportée X	kg
direction	Direction du voyage de la cabine d'ascenseur (direction = « haut » si la cabine d'ascenseur monte, direction = « bas » si la cabine descend)	-
U	Tableau (vecteur de 365 x 24 composantes scalaires) décrivant la mobilité de la cabine d'ascenseur	-
Fmob	Indicatrice horaire de mobilité de la cabine d'ascenseur (vecteur de 365 X 24 composantes scalaires)	-
Fimob	Indicatrice horaire d'immobilité de la cabine d'ascenseur (vecteur de 365 X 24 composantes scalaires)	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Eti	Consommation annuelle totale en immobilité	Wh
Etm	Consommation annuelle totale en mobilité	Wh
Etot	Consommation annuelle totale	Wh
$W^{z}_{ef\_ascenseurs}\ (h)$	Consommation électrique horaire en énergie finale des ascenseurs de la zone n°z	Wh
Emoy	Consommation annuelle consommée par la chaine de traction de l'ascenseur pendant la phase de mobilité	Wh
Tmobh	Durée moyenne (base annuelle) de déplacement par jour de l'ascenseur	h
NDem	Nombre estimé de démarrages annuel de l'ascenseur	-
Pcab	Consommation électrique horaire (vecteur de 24×365 valeurs) de la cabine d'ascenseur	W

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
g	Accélération terrestre	m^2/s	9,81
Eporte	Consommation forfaitaire d'un cycle ouverte/fermeture d'une porte	J	1188
deco	Coefficient multiplicateur de la charge utile pour obtenir la masse réelle de la cabine	.	1,2
Tempec	Temporisation de la veille de l'éclairage cabine	s	13
Mpass	Masse conventionnelle d'un passager	kg	120

Pveilleporte	Puissance de veille de l'opérateur de porte	W	75
Cf	Coefficient de frottement	m/s²	0,45
Cor_Ch	Facteur multiplicatif du coefficient de hauteur	-	1,1
Cor_Emobcab	Facteur multiplicatif de l'énergie de mobilité de la cabine	-	0,9
Bv(k)	Besoin de voyage par personne par an fonction de la typologie d'usage du bâtiment repérée par l'indice k.	/an/p	
Rg(TechMac)	Tableau de rendement global des ascenseurs en fonction des typologies repéré par TechMac	.	
Ac(V)	Tableau des accélérations au freinage et au démarrage des cabines en fonction de la vitesse nominale V	m2/s	
Uk	Tableau (vecteur de 365 x 24 composante scalaire) décrivant la mobilité des cabines induite par la zone k		
Cp(TechMac)	Tableau des coefficients d'équilibrage des cabines en fonction de la typologie repérée par TecMac		
Pec(Q)	Tableau des puissances d'éclairage installée dans les cabines en fonction de la charge utile Q.		
Pman(etat)	Puissance appelée par la manœuvre en fonction de l'état de la cabine (mobile/immobile)		
Pboutonpal(etat)	Puissance appelée par un bouton de palier en fonction de l'état de la cabine (mobile/immobile)		
Pindpal(etat)	Puissance appelée par un indicateur de palier en fonction de l'état de la cabine (mobile/immobile)		
Pindcab(etat)	Puissance appelée par les boutons et l'indicateur de palier en fonction de l'état de la cabine (mobile/immobile)		
Pfrein(etat)	Puissance appelée par le frein en fonction de l'état la cabine (mobile/immobile)		
Palarm(etat)	Puissance appelée par l'alarme et la télésurveillance en fonction de l'état de la cabine (mobile/immobile)		
S(direction,X)	Spectre de charge fonction de la charge **X** et de la **direction** (haut/bas).		

Tableau 310 : Nomenclature des différentes variables du modèle

10.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

10.1.3.1 ***Généralités***

La description est séquentielle.

Pour toute la suite z est un indice repérant toutes les zones, au sens de Th-BCE, existant dans le bâtiment.

Pour toute la suite **i** est un indice repérant toutes les cabines d'ascenseurs présentes dans le bâtiment.

Le plan de la description mathématique du modèle est le suivant :

- Tout d'abord les constantes (tableaux et scalaires) propres à la méthode sont définies au §10.1.3.2,
- On introduit ensuite les valeurs par défaut des paramètres intrinsèques au §10.1.3.3,
- On applique ensuite une étape de calcul des variables intermédiaires en §10.1.3.4, puis des sorties annuelles en §10.1.3.5,
- Enfin, on calcule les sorties au pas horaire pour chaque cabine et chaque zone en §10.1.3.6.

10.1.3.2 ***Définition des constantes du module***

Cette partie introduit l'ensemble des constantes et hypothèses de calcul des consommations des ascenseurs. Ces constantes sont applicables à toutes les cabines :

- Accélération terrestre, g = 9,81 [m/s^2] ;
- Énergie d'une ouverture fermeture de porte, Eporte = 1188 [J] ;
- Ratio de masse pour la décoration, deco = 1,2 [-] ;
- Temporisation de l'éclairage de cabine, Tempec = 120 [s] ;
- Masse conventionnelle d'un passager, Mpass = 75 [kg] ;
- Puissance de veille de l'opérateur de porte, Pveilleporte = 13 [W] ;
- Coefficient de frottement, Cf = 0,45 [m/s^2] ;
- Facteur multiplicatif du coefficient de hauteur, Cor_Ch = 1,1 [-] ;
- Facteur multiplicatif de l'énergie de mobilité, Cor_Emobcab = 0,9 [-].

Besoin de voyages par an, par personne et par usage de bâtiment Bv

Bv(k) est un tableau définit explicitement ci-dessous dans la seconde colonne, où k repère la typologie d'usage au sens de Th-BCE (chapitre 2.2.1.3 de la méthode Th-BCE), laquelle est explicitée dans la première colonne.

Usage de la zone, k	Bv(k)
Logement collectif	1600
Bureaux	1700
Enseignement primaire	800
Enseignement secondaire jour	1200

Tableau 311 : Besoin de voyages Bv par an, par personne et par usage de bâtiment en fonction de l'usage de la zone

Rendement global Rg des chaines de traction des cabines

Rg(TechMac) est une fonction, explicitement définie par le tableau suivant, du paramètre intrinsèque TechMac (la typologie de l'ascenseur) qui peut prendre quatre valeurs possibles : 0 -> « Traction avec réduction », 1 -> « Traction sans réduction », 2 -> « Hydraulique » ou 3 -> « Autre ».

Typologie de l'ascenseur, TechMac	Traction avec réduction	Traction sans réduction	Hydraulique	Autre
Rendement global, Rg(TechMac)	0,6	0,8	0,29	0,6

Tableau 312 : Rendement global Rg des chaines de traction des cabines en fonction de la typologie d'ascenseur TechMac

Accélération Ac des cabines

Ac(V) est une fonction, explicitement définie par le tableau suivant, du paramètre intrinsèque V pouvant être compris dans trois gammes de vitesse nominale.

	Vitesse nominale, V [m/s]	V ∈ [0,1]	V ∈]1,2]	V ∈]2,2,5]
Accélération, Ac(V) [m/s²]	Électrique	0,5	0,8	1,2
	Hydraulique	0,5	0,8	1,2

Tableau 313 : Accélération Ac des cabines en fonction de la vitesse nominale V

Coefficient d'inertie α des cabines

α(TechMac) est une fonction, explicitement définie par le tableau suivant, du paramètre intrinsèque TechMac (la typologie de l'ascenseur) peut prendre quatre valeurs possibles : 0 -> « Traction avec réduction », 1 -> « Traction sans réduction », 2 -> « Hydraulique » ou 3 -> « Autre ».

Typologie de l'ascenseur, TechMac	Traction avec réduction	Traction sans réduction	Hydraulique	Autre
Coefficient d'inertie, α(TechMac)	6	0	0	6

Tableau 314 : Coefficient d'inertie α des cabines en fonction de la typologie d'ascenseur TechMac

Coefficient d'équilibrage Cp des cabines

Cp(TechMac) est une fonction, explicitement définie par le tableau suivant, du paramètre intrinsèque TechMac qui peut prendre quatre valeurs possibles : 0 -> « Traction avec réduction », 1 -> « Traction sans réduction », 2 -> « Hydraulique » ou 3 -> « Autre ».

Typologie de l'ascenseur, TechMac	Traction avec réduction	Traction sans réduction	Hydraulique	Autre
Coefficient d'équilibrage, Cp(TechMac)	0,5	0,5	-1,2	0,5

Tableau 315 : Coefficient d'équilibrage Cp des cabines en fonction de la typologie d'ascenseur TechMac

Note : si TechMac = 2 -> « Hydraulique », Cp(TechMac) = -1,2 devient une valeur obligatoire (non demandée à l'utilisateur).

Puissance d'éclairage de cabine Pec par défaut

La valeur de Pec(Q) est obtenue dans le tableau à une dimension ci-dessous en fonction de la charge utile Q (paramètre intrinsèque) :

Charge utile, Q [kg]	Puissance d'éclairage [W]
De 75 à 630 kg (inclus)	140
De 630 (exclu) à 1275 kg (inclus)	210
Plus de1275 kg (exclu)	280

Tableau 316 : Puissance par défaut d'éclairage de cabine Pec en fonction de la charge utile Q

Puissance par défaut appelée par les auxiliaires

La valeur par défaut de Pti, puissance électrique absorbée par les auxiliaires au cours des périodes d'immobilité, Pti est définie à partir de la somme des composantes ci-dessous :

	Pour un ascenseur immobile
Manœuvre: **Pman** (W)	75
Un bouton de palier **: Pboutonpal** (W)	0
Un indicateur de palier **: Pindpal** (W)	2
Boutons et indicateur de palier en cabine **: Pindcab** (W)	5
Frein de cabine : **Pfrein** (W)	0
Alarme et télésurveillance **: Palarm** (W)	10

Tableau 317 : puissance par défaut des auxiliaires de cabine en période d'immobilité

Tableau Uk de mobilité des cabines par type de zone k

Le tableau est obtenu via les éléments fournis dans la fiche dédiée aux scénarii conventionnels

Spectre de charges S des cabines

S(direction, X) est une fonction, défini explicitement par le tableau à deux dimensions ci-dessous, de deux variables internes :

- direction est une variable discrète à deux valeurs possibles : « haut » et « bas » ;
- X est une variable discrète à 5 valeurs possibles : {0 ;0,25 ; 0,5 ; 0,75 ; 1}.

Note : X représente le ratio de la charge embarquée sur la charge nominale.

	X	S(direction,X)
Direction = bas	1	0
	0,75	0,1
	0,5	0,1
	0,25	0,3
	0	0,5
Direction = haut	1	0
	0,75	0,1
	0,5	0,1

	0,25	0,3
	0	0,5

Tableau 318 : Spectre de charges S des cabines

10.1.3.3 *Définition des valeurs par défaut des paramètres intrinsèques*

Les paramètres intrinsèques Q, V, TechMax et Cp ne peuvent pas être définis par défaut.

Les paramètres Pti^i, $dP1^i$,$T1^i$,$dP2^i$ et $T2^i$ peuvent par contre être définis par défaut si l'utilisateur fixe ScVeille à 0 (scénario de mise en veille non-connu). Les valeurs par défaut adoptées sont alors les suivantes :

Valeur par défaut Pti

$$Pti^i = Pman(immobile) + (\text{netage} + 1).[Pboutonpal(immobile) + Pindpal(immobile)] + Pfrein(immobile) + Pveilleporte + Pincab(immobile) + Pec\,(Qi) + Palarm(immobile) \quad (2328)$$

Valeur par défaut de dP1

$$dP1^i = 0\ W \quad (2329)$$

Note: cette valeur signifie qu'il n'y a pas de décrément de puissance quand la cabine est à l'arrêt.

Valeur par défaut T1

$$T1^i = 86\,400\ s \quad (2330)$$

Valeur par défaut dP2

$$dP2^i = 0\ W \quad (2331)$$

Note : cette valeur signifie qu'il n'y a pas de deuxième décrément de puissance quand la cabine est à l'arrêt

Valeur par défaut T2

$$T2^i = 86\,400\ s \quad (2332)$$

10.1.3.4 *Calcul des variables intermédiaires par cabine*

Le présent paragraphe décrit le calcul de toutes les variables intermédiaires nécessaires au calcul de la consommation d'une cabine d'ascenseur d'indice i.

Nombre de démarrages annuels, $Ndem^i$, pour la cabine n°i

Etape 1

Pour toutes les zones n°z du bâtiment :

- calcul de la masse utile Q_z affectée à la zone n°z :

$$Q_z = \sum_i Q^i . C(i,z) \quad (2333)$$

- calcul du nombre de personnes NB_z, dans la zone n°z :

$$NB_z = \text{Max}_{\text{année}}\left(\sum_{l=1}^{\text{nb locaux dans zone Z.}} N_{occ}^l\right) \quad (2334)$$

avec N_{occ}^{l} nombre d'occupants conventionnels calculé dans le chapitre C_EIN_Scénarios conventionnels.

- **calcul de BV_z , besoin de voyage par personne et annuel pour la zone n°z :**

$$BV_z = BV(k) \quad (2335)$$

avec k la typologie d'usage de la zone n°z.

Fin de la boucle portant sur les zones du bâtiment.

Etape 2

Pour toutes les cabines n°i du bâtiment :

- calcul de $BVNB^i$, besoin de voyage annuel affecté à l'ascenseur n°i :

$$BVNB^i = \sum_z C(i,z) \cdot \frac{Q^i}{Q_z} BV_z \cdot NB_z \quad (2336)$$

Note : la sommation porte sur toutes les zones n°z du bâtiment.

- calcul du nombre de démarrages annuel $Ndem^i$ associé à la cabine n°i :

$$Ndem^i = \frac{BVNB^i \cdot Mpass}{Q^i \cdot 0{,}2} \quad (2337)$$

$$\sum_{direction,X} X \cdot S(direction, X) = 0{,}2 \quad (2338)$$

Accélération a^i de la cabine n° i

$$a^i = Ac(V^i) \quad (2339)$$

Coefficient de hauteur Ch^i de la cabine n°i

$$Ch^i = \frac{netage^i + 1}{netage^i + 2} \cdot Cor\_ch \quad (2340)$$

Le facteur multiplicatif empirique Cor_Ch est une constante fixée à 1,1.

Rendement global de la cabine n°i

$$rg^i = rg(TechMac^i) \quad (2341)$$

Masse à vide P^i de la cabine n°i

$$P^i = deco\ Q^i \quad (2342)$$

Masse G^i du contrepoids de la cabine n°i

$$G^i = P^i + Cp^i \cdot Q^i \quad (2343)$$

Masse d'inertie Mi^i associée à la cabine n°i

$$Mi^i = \alpha(TechMac^i) \cdot (G^i + P^i) \quad (2344)$$

Durée $Tmob^i$ de mobilité annuelle et durée de mobilité en moyenne par jour $Tmobh^i$ de la cabine n°i

$$Tmob^i = \left(\frac{Ch^i \cdot H^i}{V^i} + \frac{V^i}{a^i}\right) \cdot Ndem^i \quad (2345)$$

Et la durée de mobilité en moyenne par jour en heure :

$$Tmobh^i = \frac{Tmob^i}{365 \times 3600} \quad (2346)$$

Durée Timmob^i d'immobilité annuelle de la cabine n°i (en secondes)

$$Timmob^i = 24 \cdot 365 \cdot 3600 - Tmob^i \quad (2347)$$

Durée Timmob_j^i et Timmob_n^i d'immobilité annuelle de jour et de nuit de la cabine n°i (en secondes)

Pour les zones de typologie n°z = habitation, la constante $Timmob\_n$ est définie comme suit :

$$Timmob\_n_{z\,=\,habitation} = 8 \cdot 365 \cdot 3600 \quad (2348)$$

Pour toutes les zones n°z qui ne sont pas des zones d'habitation :

$$Timmob\_n_{z\,=\,\text{pas}\,habitation} = (12 \cdot 365 + 52 \cdot 48 + 9 \cdot 24) \cdot 3600 \quad (2349)$$

Pour les ascenseurs desservants un ensemble de zones, la durée d'immobilité moyenne durant la nuit Timmob_n^i est calculée comme suit :

$$Timmob\_n^i = \sum_z C(i,z) \cdot \frac{Q^i}{Q_z} \cdot Timmob\_n_z \quad (2350)$$

Et dans tous les cas, la durée d'immobilité moyenne durant la journée Timmob_j^i est ainsi calculée :

$$Timmob\_j^i = \max\left[0, Timmob^i - Timmob\_n^i\right] \quad (2351)$$

Calcul de l'énergie associée à la motorisation seulement pour la cabine n°i

On définit une fonction masse totale en charge de la cabine de l'ascenseur n°i, $\mathrm{F}^i(\mathrm{X})$ (masse de la cabine vide P^i plus masse de la charge Q^i) :

$$\mathrm{F}^i(\mathrm{X}) = \mathrm{P}^i + \mathrm{X} \cdot \mathrm{Q}^i \quad (2352)$$

où X est une variable booléenne (0 -> cabine à vide et 1 -> cabine chargée).

On définit deux fonctions ci-dessous :

Note : pour la clarté de l'exposé, l'indice supérieur haut i repérant le numéro de l'ascenseur est omis exceptionnellement dans les deux relations.

- l'énergie pour un trajet descendant de distance totale Z avec la charge transportée X dans la cabine :

$$\begin{aligned}\mathrm{Emoybas}(X,Z) = {} & Max\left[0, \left(G + F(X)\right) \cdot Cf \cdot \frac{V^2}{2.a} + \left(G + F(X)\right) \cdot g \cdot \frac{V^2}{2.a} + (G + F(X) + Mi) \cdot \frac{V^2}{2}\right] \\ & + Max\left[0, \left(G + F(X)\right) \cdot Cf \cdot \left(z - \frac{V^2}{2.a}\right) + \left(G - F(X)\right) \cdot g \cdot \left(z - \frac{V^2}{2.a}\right)\right] \\ & + Max\left[0, \left(G + F(X)\right) \cdot Cf \cdot \frac{V^2}{2.a} + \left(G - F(X)\right) \cdot g \cdot \frac{V^2}{2.a} - (G + F(X) + Mi) \cdot \frac{V^2}{2}\right]\end{aligned} \quad (2353)$$

- l'énergie pour un trajet montant de distance totale Z avec la charge X dans la cabine :

$$\begin{aligned}\text{Emoyhaut}(X,Z) = Max\left[0,\left(G+F(X)\right)\cdot Cf\cdot\frac{V^2}{2.a}-\left(G+F(X)\right)\cdot g\cdot\frac{V^2}{2.a}+(G+F(X)+Mi)\cdot\frac{V^2}{2}\right]\\ +Max\left[0,\left(G+F(X)\right)\cdot Cf\cdot\left(z-\frac{V^2}{2.a}\right)-\left(G-F(X)\right)\cdot g\cdot\left(z-\frac{V^2}{2.a}\right)\right]\\ +Max\left[0,\left(G+F(X)\right)\cdot Cf\cdot\frac{V^2}{2.a}+\left(G-F(X)\right)\cdot g\cdot\frac{V^2}{2.a}-(G+F(X)+Mi)\cdot\frac{V^2}{2}\right]\end{aligned} \quad (2354)$$

Ces deux fonctions permettent le calcul de Emoy^{i} (pour le trajet aller-retour moyen annuel résultant d'un usage suivant le spectre de charge S) ci-dessous :

$$\text{Emoy}^{i} = \frac{\left\{\sum_{X=0,0.25,0.50,0.75,1.0}\left[S(haut,X)\cdot Emoyhaut^{i}\left(X,Ch^{i}\cdot H^{i}\right)+S(bas,X)\cdot Emoybas^{i}\left(X,Ch^{i}\cdot H^{i}\right)\right.\right.}{rg^{i}} \quad (2355)$$

10.1.3.5 *Calcul des sorties annuelles de la cabine n°i*

On calcule Etm^{i}, consommation annuelle totale en période de mobilité de la cabine (en Wh). Etm est la somme des consommations associées à la motorisation de la cabine, à l'actionnement des portes et aux auxiliaires. Pour ces derniers, on ajoute un terme correspondant à une puissance absorbée Pti^{i} pendant $Tmob^{i}$ secondes. Le facteur $Cor\_Emobcab$ est une constante fixée à 0,9 :

$$Etm^{i} = \left(Emoy^{i}\cdot Cor\_Emobcab\cdot Ndem^{i}/2 \;+\; Eporte\;\cdot Ndem^{i}.+Pti^{i}\cdot Tmob^{i}\right)/3600 \quad (2356)$$

On calcule ensuite Eti^{i}, consommation annuelle totale en période d'immobilité de la cabine (en Wh), à partir de la relation suivante :

$$\begin{aligned}Eti^{i} = \mathrm{dP1}^{i}\cdot\ \mathrm{MIN}\left[1,\frac{\mathrm{T1}^{i}}{\frac{\mathrm{Timmob\_j}^{i}}{\mathrm{Ndem}^{i}}}\right]/3600+\mathrm{dP2}^{i}\cdot\ \mathrm{MIN}\left[1,\frac{\mathrm{T1}^{i}+\mathrm{T2}^{i}}{\frac{\mathrm{Timmob\_j}^{i}}{\mathrm{Ndem}^{i}}}\right]/3600\\ +\left(Pti^{i}-\mathrm{dP1}^{i}-\mathrm{dP2}^{i}\right)\cdot\ \mathrm{Timmob\_j}^{i}/3600\\ +\mathrm{dP1}^{i}\cdot\ \mathrm{MIN}\left[1,\frac{\mathrm{T1}^{i}}{\frac{\mathrm{Timmob\_n}^{i}}{365}}\right]/3600+\mathrm{dP2}^{i}\cdot\ \mathrm{MIN}\left[1,\frac{\mathrm{T1}^{i}+\mathrm{T2}^{i}}{\frac{\mathrm{Timmob\_n}^{i}}{365}}\right]/3600\\ +\left(Pti^{i}-\mathrm{dP1}^{i}-\mathrm{dP2}^{i}\right)\cdot\ \mathrm{Timmob\_n}^{i}/3600\end{aligned} \quad (2357)$$

La consommation annuelle totale de la cabine est la somme des consommations en période de mobilité et d'immobilité :

$$Etot^{i} = Etm^{i} + Eti^{i} \quad (2358)$$

10.1.3.6 *Calcul des sorties horaires la cabine n°i*

Calcul du profil de mobilité horaire affectée à l'ascenseur n°i

Le profil horaire de mobilité U^{i} de la cabine d'ascenseur n°i est défini comme suit :

$$\mathrm{U}^{i} = \left(\sum_{z=1}^{\text{nb de zone Z}} C(i,z).\frac{Q_i}{Q_z}.\mathrm{U}_z\right) \quad (2359)$$

Calcul de la fonction de distribution temporelle de l'énergie en phase de mobilité de la cabine n°i

Le calcul requiert quelques étapes intermédiaires.

Pour chaque cabine d'ascenseur n°i, l'indicatrice horaire de mobilité, $Fmob^i$, est définie (normalisation) pour chaque pas de temps horaire h dans l'année comme suit :

$$\mathrm{Fmob}^i(\mathrm{h}) = \frac{\mathrm{U}^i(\mathrm{h})}{\sum_t \mathrm{U}^i(\mathrm{h})} \quad (2360)$$

L'indicatrice horaire d'immobilité est définie pour chaque pas de temps horaire h comme suit :

$$\mathrm{Fimob}^i(\mathrm{h}) = \frac{\frac{1}{365.\mathrm{Tmobh}^i} - \mathrm{Fmob}^i(\mathrm{h})}{\frac{24}{\mathrm{Tmobh}^i} - 1} \quad (2361)$$

Calcul de la puissance active horaire de l'ascenseur n°i

La puissance active horaire de l'ascenseur n°i vaut :

$$Pcab^i(h) = Fimob^i(h).Eti^i + Fmob^i(h).Etm^i \quad (2362)$$

Calcul de la puissance active horaire des cabines affectées à chaque zone n°z

Pour chaque zone n°z dans le bâtiment, connectée à chaque cabine n°i à travers la matrice C(i,z), le profil horaire conventionnel de consommation électrique est défini comme suit :

$$Pcab_z(h) = \left(\sum_{toutes\ les\ cabines\ i} Pcab^i(h) \frac{C(i,z).Qz}{\sum_{toutes\ les\ zones\ j} C(i,j).Qj}\right) \quad (2363)$$

Note sur le ratio du côté droit de l'équation :

- *le numérateur représente le potentiel de masse utile Qz de la zone n°z si l'ascenseur n°i dessert cette zone (égal à zéro autrement) ;*
- *le dénominateur représente la somme des potentiels de masse utiles pour laquelle la cabine n°i est contributive.*

Enfin, on calcule la consommation en énergie finale à chaque pas de temps *h* :

$$W^z_{ef\_ascenseurs}(h) = Pcab_z(h) \cdot 1h \quad (2364)$$

10.2 C_Bat_Escalators

10.2.1 INTRODUCTION

Ce document décrit les principes d'une modélisation en énergie annuelle et en puissance au pas horaire d'un ensemble d'escalators dans un bâtiment.

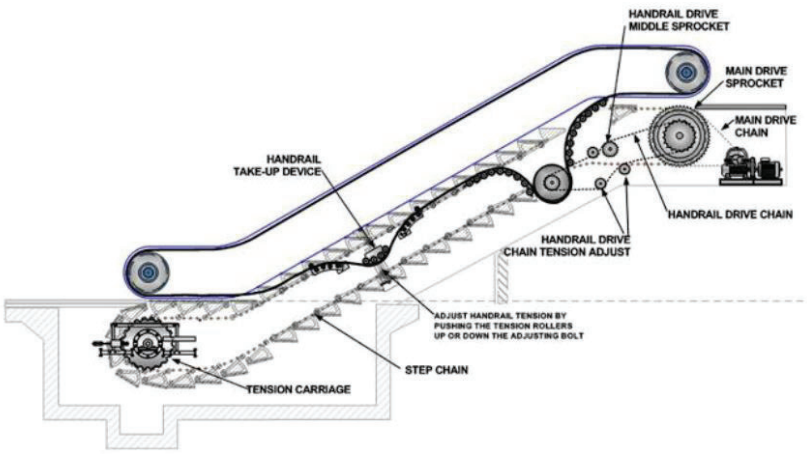


Figure 210 : Schéma d'un escalator (escalier mécanique)

La méthode est structurée autour de :

- une description technologique de chaque escalator qui comprend la description du scénario de mise en veille. Il peut y avoir plusieurs escalators dans le bâtiment ;
- une estimation du nombre de voyages par an pour tout le bâtiment (le bâtiment peut être multizone) ;
- une estimation du nombre de voyages par an et par escalator ;
- un calcul de la consommation électrique totale annuelle par escalator, découpé en une phase à charge nulle et une phase à charge non nulle immobile montante et descendante
- une distribution de la consommation électrique annuelle en consommations horaires à l'aide de l'introduction d'une caractéristique de mobilité par zone et reprenant les formats de description des scénarios d'usage de la méthode Th-BCE.

La méthode calcule les sorties suivantes :

- La puissance électrique active totale en moyenne sur une heure absorbée par un escalator
- La puissance horaire de la demande électrique pour chaque zone desservie par les escalators du bâtiment

Cette puissance comprend :

- l'ensemble des forces de frottement mécaniques de la partie rendue disponible au public (marches et rampes mobiles),
- l'ensemble des forces de frottement mécanique des organes de transmission assurant la mobilité des marches et des rampes depuis le bloc de motorisation,
- l'ensemble des dissipations électromagnétique dans le/les moteur(s) électrique(s),
- Le travail électrique de la chaine de traction qui compense en plus de tous les frottements ci-dessus, le travail des forces de gravitation en assurant les déplacements des occupants à une vitesse nominale.
- les consommations électriques du(des) contrôleur(s) et de tous les auxiliaires (les capteurs de trafic, l'alimentation du moteur, l'éclairage, l'affichage etc…).

10.2.2 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

C_EIN_Scénarios conventionnels

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
$Usage_z$	Type d'usage de la zone n°z	-
$N^l occ\_nom$	Densité du local n°l	-
Nadeq	Nombre d'adulte équivalent (typologie logement)	-
Rat^l_{loc}	Ratio de surface utile du local l/surface utile de la zone	-
p^a_{occ}	Indicateur d'occupation de la zone par mois semaine	-
p^s_{occ}	Indicateur d'occupation de la zone par semaine heure	-
t^a_{occ}	Facteur correctif du taux d'occupation du local par mois semaine	-
t^s_{occ}	Facteur correctif du taux d'occupation du local par jour heure	-
Uk	Tableau (vecteur de 365 x 24 composante scalaire) décrivant la mobilité des cabines induite par la zone k	
Az	Surface de la zone n°z du bâtiment	m^2

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Vnom	Vitesse nominale de l'escalator	m/s	0	2,5	
ScVeille	Le scénario de mise en veille est connu (0 -> non ou 1 -> oui)	-	0	1	
Slowspeed	Indicateur de présence d'une régulation basse vitesse : *0 -> Non* *1 -> Oui*	-	0	1	
Pstandby	Puissance en mode arrêt complet. Les escaliers sont à l'arrêt. La machine se réactive sur commande d'un personnel autorisé. Cette puissance est mesurable par exemple suivant ISO 25745-1. (Cette puissance est la *somme* des composantes : escalator Power et Ancillary power au sens de ISO 25745-1). *Cet état est un état possible pendant les heures de fermeture*	W	0	+ ∞	88
Pautostart	Puissance en mode arrêt sans passager. Les escaliers sont à l'arrêt. La machine se réactive seule sur détection de passagers. Cette puissance est mesurable par exemple suivant ISO 25745-1(cette puissance est la *somme* des composantes : escalator Power et Ancillary power au sens de ISO 25745-1). Par rapport au cas précédent cette puissance est plus élevée. *Cet état est un état possible durant les heures de fermeture.*	W	0	+ ∞	88

Pslowspeed	Puissance en mode à vitesse réduite (sans passager). Les escaliers sont à vitesse réduite. La machine se réactive à sa vitesse nominale sur détection de trafic ou bien sur programmation. Cette puissance est mesurable par exemple suivant ISO 25745-1. (Cette puissance est la *somme* des composantes : escalator Power et Ancillary power au sens de ISO 25745-1). *Cet état est un état possible pendant les heures d'ouverture.*	W	0	+ ∞	
Pnoload_m	Puissance à vitesse nominale à vide c'est-à-dire sans aucune charge utile en montée. Les escaliers sont déplacés à vitesse nominale. Cette puissance est mesurable par exemple suivant ISO 25745-1. (*Somme* escalator Power et Ancillary power au sens de ISO 25745-1). *Cet état est un état par défaut pendant les heures d'ouverture du bâtiment si la machine ne présente pas de fonctionnalité basse vitesse.*	W	0	+ ∞	
Pnoload_d	Puissance à vitesse nominale à vide c'est-à-dire sans aucune charge utile en descente. Les escaliers sont déplacés à vitesse nominale. Cette puissance est mesurable par exemple suivant ISO 25745-1. (*Somme* escalator Power et Ancillary power au sens de ISO 25745-1). *Cet état est un état par défaut pendant les heures d'ouverture du bâtiment si la machine ne présente pas de fonctionnalité basse vitesse.*	W	0	+ ∞	
Poff_m	les puissances cumulées à l'arrêt de tous les escalators assurant la montée pendant les périodes de fermeture au public du bâtiment	W	0	+ ∞	Pnoload_
Poff_d	les puissances cumulées à l'arrêt de tous les escalators assurant la descente pendant les périodes de fermeture au public du bâtiment	W	0	+ ∞	Pnoload_d

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
H_d	Hauteur de déplacement pour les machines assurant la montée	m	0	+ ∞	
H_m	Hauteur de déplacement pour les machines assurant la descente	m	0	+ ∞	
θ	Pente par rapport à l'horizontale de la machine	°	0	90	
netage	Nombre d'étages desservis par l'escalator	-	2	+ ∞	
C	Listes des zones desservies par l'escalator	-	1	+ ∞	

Variables internes

Nom	Description	Unité
P	Masse à vide de l'escalator	kg
M	Masse utile affectée à la zone du bâtiment	kg
M_h	Masse utile à transporter sur un pas de temps horaire	kg
NB	Nombre de personnes maximum dans la zone	.

BV	Besoin de voyages par personne par an pour la zone	./p/an
BVNB	Besoin de voyages annuel du bâtiment affecté à l'escalator	/an
T(h)	Répartition horaire du trafic allouée aux escalators	-
direction	Direction du voyage de l'escalator (direction = « haut » si l'escalator monte, direction = « bas » si l'escalator descend)	-
U	Tableau (vecteur de 365 x 24 composantes scalaires) décrivant la mobilité de l'escalator	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$C^{z}_{ef\_escalators}$ (h)	Consommation électrique horaire en énergie finale des escalators de la zone n°z	Wh
Pesc(h)	Demande électrique horaire des escalators du bâtiment	W
$Pesc_z(h)$	Puissance horaire de la demande électrique pour chaque zone desservie par les escalators du bâtiment	W

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
g	Accélération terrestre	m^2/s	9,81
R_m	Rendement global marginal à la charge en montée.	-	0.8
R_d	Rendement global marginal à la charge en descente.	-	0.8
Mpass	Masse conventionnelle d'un passager	kg	75
Bv(k)	Besoin de voyage par personne par an fonction de la typologie d'usage du bâtiment repérée par l'indice k. Les usages du bâtiment sont ceux de Th-BCE	/an/p	
Uk	Tableau (vecteur de 365 x 24 composante scalaire) décrivant la mobilité des escalators induite par la zone k		

Tableau 319 : Nomenclature des différentes variables du modèle

10.2.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

10.2.3.1 ***Généralités***

La description est séquentielle.

Pour toute la suite z est un indice repérant toutes les zones, au sens de Th-BCE, existant dans le bâtiment.

Pour toute la suite **i** est un indice repérant tous les escalators présents dans le bâtiment.

Le plan de la description mathématique du modèle est le suivant :

- Tout d'abord, la liste des différentes hypothèses du modèle au §10.2.3.1
- Les constantes (tableaux et scalaires) propres à la méthode sont définies au §10.2.3.2,

- On introduit ensuite les valeurs par défaut des paramètres intrinsèques au §10.2.3.3,
- On applique ensuite une étape de calcul de la puissance horaire conventionnelle de la demande électrique des escalators d'un bâtiment selon le cas en §10.2.3.4,
- Enfin, on calcule la puissance horaire conventionnelle de la demande électrique pour chaque zone z desservie par les escalators d'un bâtiment en §10.2.3.5.

10.2.3.2 *Définition des constantes du module*

Cette partie introduit l'ensemble des constantes et hypothèses de calcul des consommations des escalators. Ces constantes sont applicables à tous les escalators :

- Accélération terrestre, g = 9,81 [m/s^2] ;
- Masse conventionnelle d'un passager, Mpass = 75 [kg] ;

Besoin de voyages par an, par personne et par usage de bâtiment Bv

Bv(k) est un tableau définit explicitement ci-dessous dans la seconde colonne, où k repère la typologie d'usage au sens de Th-BCE, laquelle est explicitée dans la première colonne.

Usage de la zone, k	Bv(k)
Logement collectif	1600
Bureaux	1700
Enseignement primaire	800
Enseignement secondaire jour	1200

Tableau 320 : Besoin de voyages Bv par an, par personne et par usage de bâtiment en fonction de l'usage de la zone

Rendement global marginal à la charge en montée et en descente

R_m et r_d sont des constantes internes au modèle.

R_m (-)	0.8
R_d (-)	0.8

Tableau 321 : Rendements globaux marginaux à la charge r_m (en montée) et r_d (en descente) des escalators

Tableau Uk de mobilité des escalators par type de zone k

Le tableau est obtenu via les éléments fournis dans la fiche dédiée aux scénarii conventionnels

Les scénarii sont définis dans la fiche scénario « C_EIN_Scénarios conventionnels».

10.2.3.3 *Définition des valeurs par défaut des paramètres intrinsèques*

Les paramètres intrinsèques Vnom, Pstandby, Pautostart, Pslowspeed, Pnoload, et H ne peuvent pas être définis par défaut.

10.2.3.4 *Calcul de la puissance horaire conventionnelle de la demande électrique des escalators d'un bâtiment*

10.2.3.4.1 Cas d'une machine avec transport vers le haut de passagers supposés immobiles sur l'escalator

On fait l'hypothèse que les forces de frottement qui existent à vide ne sont pas modifiées par la charge.

Alors lorsque l'escalator transporte une masse M vers le haut suivant un plan incliné de pente θ par rapport à l'horizontale, un travail mécanique supplémentaire est à réaliser par la chaine de traction à travers un rendement marginal r_m :

$$Pesc\ (monte,\ sous\ charge\ M) = Pnoload + M.g.\sin(\theta).\ Vnom/r\_m \quad (2365)$$

Dans le cas où l'escalator possède une régulation basse vitesse (Slowspeed = 1), la puissance nominale à vide est réduite et correspond à la puissance Pslowspeed définie dans la nomenclature, ce qui nous donne la puissance de demande électrique en montée suivante : :

$$Pesc\ (monte,\ sous\ charge\ M) = Pslowspeed + M.g.\sin(\theta).\ Vnom/r\_m \quad (2366)$$

10.2.3.4.2 Cas d'une machine avec transport vers le bas de passagers supposés immobiles sur l'escalator

Lorsque la machine déplace des masses M vers le bas suivant un plan incliné de pente θ par rapport à l'horizontale, par rapport au cas à vide le travail moteur du poids diminue les couples de frottement perçu par la motorisation. A la limite, la consommation est nulle et au-delà un freinage mécanique doit être mis en œuvre. Alternativement une réinjection d'énergie électrique est opérée. **Tout comme la modélisation des ascenseurs, cette option de freinage régénératif n'est pas considérée ici.**

Ainsi, la puissance électrique d'un escalator sans régulation basse vitesse (Slowspeed = 0) sous charge est la suivante :

$$Pesc\ (descend,\ sous\ charge\ M) = Max\ (0,\ Pnoload - M.g.\sin(\theta).\ Vnom*r\_d). \quad (2367)$$

De la même manière qu'en montée, dans le cas où l'escalator possède une régulation basse vitesse (Slowspeed = 1), la puissance nominale à vide est réduite et correspond à la puissance Pslowspeed définie dans la nomenclature, ce qui nous donne la puissance de demande électrique en descente suivante :

$$Pesc\ (descend,\ sous\ charge\ M) = Max\ (0,\ Pslowspeed - M.g.\sin(\theta).\ Vnom*r\_d). \quad (2368)$$

10.2.3.4.3 Cas de la modélisation de l'ensemble des escalators

On modélise **directement l'ensemble des escalators** (montants et descendants) qui existe dans un bâtiment et **directement au pas horaire**.

<u>Etape n°1</u> : on estime la masse totale M à transporter sur une année :

On suppose qu'elle est identique pour la montée et pour la descente et qu'il n'y a pas de compétition avec les escaliers et les ascenseurs.

Pour cela, on définit le vecteur de connexion C(z) (similaire à matrice de connexion par escalator notée C (i, z)) qui vaut :

- 0 s'il n'est pas possible depuis la zone z de joindre à pieds un escalator.

- 1 s'il est possible depuis la zone z de joindre à pieds un escalator.

Pour chaque zone z du bâtiment desservi par les escalators (C(z)=1) :

- Calcul du nombre d'occupants maximum conventionnels NBz, dans la zone n°z :

$$\mathrm{NB_z} = \mathrm{Max_{année}}(\sum_{l=1}^{\text{nb locaux dans zone z}} N_{occ}^{l}) \quad (2369)$$

avec N_{occ}^{l} nombre d'occupants conventionnels calculé dans le chapitre C_EIN_Scénarios conventionnels de la méthode Th-BCE.

- calcul de BVz , besoin de voyage par personne et annuel pour la zone n°z :

$$\mathrm{BV_z} = \mathrm{BV(k)} \quad (2370)$$

avec k la typologie d'usage de la zone n°z.

Fin de la boucle portant sur les zones du bâtiment.

Puis calcul du besoin de voyage annuel affecté à l'ensemble des escalators :

$$BVNB = \sum_{z} C(z) \cdot BV_z \cdot NB_z \quad (2371)$$

D'où le calcul de la masse totale à transporter sur l'année pour l'ensemble des escalators :

$$M = Mpass * BVNB \quad (2372)$$

Ainsi, on en déduit le calcul de la masse totale à transporter sur un pas de temps horaire pour l'ensemble des escalators :

$$M\_h = M / 8760 \quad (2373)$$

<u>Etape n°2</u> : on recueille les caractéristiques des escalators :

- Pnoload (W) : la puissance à vide et à vitesse nominale cumulée de tous les escalators :

  Pnoload_m pour les machines assurant la montée.

  Pnoload_d (s'il y en a) pour les machines assurant la descente.

  Cette puissance est assimilable à Pnoload telle que définie §10.2.2. Il n'y a pas de valeur par défaut possible.

- Poff (W) : les puissances cumulées à l'arrêt de tous les escalators pendant les périodes de fermeture au public du bâtiment :

  Poff_m pour les machines assurant la montée,

  Poff_d (s'il y en a) pour les machines assurant la descente,

Ici « à l'arrêt » signifie aucun transport de masse pendant au moins 1 heure. En raison de la définition des tableaux de mobilité, Uk, cela se réalisera pendant les périodes de fermeture.

Suivant les fonctionnalités des machines et suivant l'exploitation envisagée des machines cette puissance est assimilable à Pnoload ou à Pstartup ou à Pstandby telle que définie §10.2.2.

- H(m) : la hauteur de déplacement :

  H_m pour les machines assurant la montée,

  H_d pour les machines assurant la descente,

  Il n'y a pas de valeur par défaut possible pour cette variable.

  Par exemple : pour un bâtiment à R+3 équipé depuis le rez-de-chaussée et jusqu'en haut d'escalators montant mais avec seulement deux étages équipés d'escalators descendant :

  H_m est la hauteur cumulée des 3 étages,

  H_d est la hauteur cumulée de 2 étages.

<u>Etape n° 3</u> : on estime la répartition horaire du trafic T(h) allouée aux escalators :

T(h) distribue au pas horaire la masse totale à transporter M calculée en étape n° 2 :

$$\mathrm{T(h)} = \left(\sum_{\mathrm{z}} C(z).BV_z \cdot NB_z.\mathrm{U}_z(\mathrm{h})\right) / \left(\sum_{\mathrm{z,h}} C(z).BV_z \cdot NB_z.\mathrm{U}_z(\mathrm{h})\right) \quad (2374)$$

Ce vecteur est sans dimension et par construction ce vecteur est normé : sa somme sur l'année vaut 1.

<u>Etape n°4</u> : on calcule la demande électrique horaire Pesc(h) des escalators du bâtiment :

Tout d'abord, on doit distinguer deux types de fonctionnement de l'escalator :

- Le fonctionnement en mode veille
- Le fonctionnement en occupation

Premier cas : Fonctionnement de l'escalator en occupation

On considère ici que nous sommes en période d'occupation.

Les personnes sont considérées transportées sur toute la hauteur de l'escalator.

Ainsi, en période d'occupation, la demande électrique horaire des escalators du bâtiment est donc :

$$\mathrm{Pesc(h)} = \mathrm{Pesc\_m(M\_h.T(h), H\_m/r\_m)} + \mathrm{Pesc\_d(M\_h.T(h), H\_d.\ r\_d)} \quad (2375)$$

Deuxième cas : Fonctionnement de l'escalator en mode veille (soit en inoccupation)

On considère ici que nous sommes en période d'inoccupation.

Dans ce cas, si le scenario de mise en veille est connu (Scveille = 1), la demande électrique horaire des escalators du bâtiment est la suivante :

$$Pesc(h) = Pstandby \quad (2376)$$

Si le scénario de mise en veille n'est pas connu (Scveille = 0), la demande électrique horaire des escalators du bâtiment est la suivante :

$$Pesc(h) = Pstandby\_defaut = 88\ W \quad (2377)$$

10.2.3.5 *Calcul de la puissance horaire conventionnelle de la demande électrique pour chaque zone z desservie par les escalators d'un bâtiment*

On définit une partition, conventionnelle, au prorata des besoins de voyage de chaque zone :

$$Pesc_z(h) = \left(Pesc(h) \frac{C(z).NBVz}{\sum_{toutes\ les\ zones\ j} C(j).NBVj} \right) \quad (2378)$$

10.2.3.6 *Calcul de la puissance horaire conventionnelle de la demande électrique des escalators d'un bâtiment dans le cas d'un tapis roulant*

Ce modèle prend en compte les tapis roulants dans le même jeu d'hypothèse. En effet, le cas des tapis roulants implique H=0 et alors le modèle se réduit à :

$$Pesc(h) = Pnoload \quad (2379)$$

La consommation devient indépendante du trafic dans le cadre de cette modélisation.

10.3 C_VEN_Calcul des consommations de ventilation des parcs de stationnement fermés

10.3.1 INTRODUCTION

Le modèle calcule la consommation annuelle et horaire en énergie finale du système de ventilation forcée d'un parking fermé si l'utilisateur déclare que le parking est en ventilation forcée.
La consommation des éventuels auxiliaires associés au système de ventilation n'est pas pris en compte ici.

Le modèle prend en compte deux typologies de parking :

- un parking d'habitat soumis à l'arrêté du 31 janvier 1986 ;
- un parking hors habitat soumis à l'instruction du 3 mars 1975.

Si le parking est ouvert sur l'extérieur le modèle de calcul retourne une valeur de consommation nulle :

- **pour les parkings d'habitat, un débit de 600 m^3/h par véhicule est pris en compte**
- **pour les parkings hors habitat,** le débit est calculé en se basant sur une estimation du besoin en ventilation pour maintenir la concentration en monoxyde de carbone CO du parking sous un seuil fixe de 50 ppm.

Plus précisément :

- **Pour les parkings hors usage d'habitation :**

  La consommation des ventilateurs est estimée au pas horaire.

  A chaque pas de temps, on estime le besoin de renouvellement d'air nécessaire pour maintenir une concentration en monoxyde de carbone CO sous un seuil de 50 ppm. Ce besoin en renouvellement d'air est calculé en faisant l'hypothèse d'une régulation à deux seuils du fonctionnement des ventilateurs. Le besoin de ventilation intègre à travers la notion d'efficacité de ventilation, et la possibilité que le capteur de CO ne soit pas représentatif du niveau moyen de CO dans le parking.

  On part du principe que la ventilation va s'opposer à un terme source de CO qui est calculé à partir d'hypothèses sur les véhicules circulant et la fréquence de déplacement :

  - un facteur d'émission de CO conventionnel des véhicules ;
  - une vitesse de déplacement conventionnelle des véhicules et donc une durée de déplacement des véhicules ;
  - des données topologiques simples du parking qui détermine la longueur de déplacement des véhicules ;
  - une typologie simplifiée d'usage du parking qui conditionne le trafic horaire du parking en intensité et en distribution temporelle.
    Cette typologie d'usage est traduite par la définition d'un scénario horaire qui quantifie le nombre de mouvements par place (entrée ou bien sortie) moyenné sur l'heure. Ce scénario est une constante interne au modèle. Le scénario horaire est construit sur une hypothèse de durée moyenne de stationnement dans la journée ou alternativement du nombre de mouvements par jour. Ces caractéristiques journalières sont fonctions de la typologie d'usage du parking. Puis dans un second temps la répartition horaire est induite suivant une distribution horaire à trois niveaux (beaucoup moyen aucun) à dire d'expert et qui est propre à chaque typologie d'usage. Un processus de normalisation permet de s'assurer que le scénario horaire journalier est consistant avec les hypothèses journalières.

Les hypothèses simplificatrices sont :

- l'homogénéité spatiale du taux de CO dans le parking à un instant donné quelconque ;
- la ventilation naturelle n'est pas prise en compte ;
- la consommation de veille des ventilateurs ou des auxiliaires au sens large est négligée.

- **Pour les parkings intérieurs en usage d'habitation :**

On considère que :

- soit la ventilation est permanente 24h/24h, il suffit alors de spécifier la puissance électrique de fonctionnement du système de ventilation par nombre de place correspondant à un point de fonctionnement 600 m^3/h / place ;
- soit la ventilation est régulée dans ce cas le scénario d'usage du parking est exploité pour estimer par heure le nombre de véhicules en mouvement et en conséquence pour activer la puissance de ventilation par nombre de place correspondant à un point de fonctionnement de 600 m^3/h/place.

Dans tous les cas, les jours où le parking est fermé sont hérités du module parking éclairage.

En termes de scénarisations du nombre de mouvements de véhicules au cours du temps, trois scénarios sont définis selon une valeur relative à l'usage des zones du bâtiment associé, Typeusage. Ce paramètre peut prendre les trois valeurs suivantes : 0) Bureau, 1) Commerce et 2) Habitat.

La valeur à adopter pour Typeusage est déterminée à partir de l'usage de la zone de bâtiment associée au parking.

Dans le cas d'un parking intérieur, si des parties du parking sont associées à des zones de bâtiment d'usages différents, Typeusage doit être défini à la valeur correspondant à l'usage de la zone de plus grande surface de référence.

La passerelle entre Typeusage est l'usage de la zone associée au parking est définie dans le tableau ci-dessous :

N° d'usage	Type d'usage associé	*Valeur de* Typeusage du parking à appliquer
1	Bâtiment à usage d'habitation - maison individuelle et accolée	*2) Habitat*
2	Bâtiment à usage d'habitation - logement collectif	*2) Habitat*
4	Enseignement primaire	*2) Habitat*
5	Enseignement secondaire (partie jour)	*2) Habitat*
16	Bureaux	*0) Bureaux*

Tableau 322 : rapport entre l'usage de la zone et le type d'usage du parking

10.3.3 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau 323 suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
NbjO(j)	Calendrier annuel des jour ouvrés/fermés du parking Hérité du module éclairage parking	.
Type	Type de parking soit intérieur =«int» soit extérieur =«ext». Hérité du module éclairage parking	-

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Dvent1	Débit de ventilation total première vitesse	m^3/h	1	+ ∞	-
Dvent2	Débit de ventilation total seconde vitesse	m^3/h	Dvent 1	+ ∞	-
Pvent1	Puissance électrique active appelée par tous les ventilateurs lorsqu'ils fonctionnent à la première vitesse	W	1	+ ∞	-
Pvent2	Puissance électrique active appelée par tous les ventilateurs lorsqu'ils fonctionnent à la seconde vitesse	W	Pvent 1	+ ∞	-
Pvent600	Puissance active totale de l'installation par nombre de place de parking et à 600 m3/h/véhicules pour les parkings d'habitations	W/nb de places	1	+ ∞	-
Reg	Applicable uniquement à un parking de typeusage= « habitation » Reg=1 la ventilation est régulée Reg+0 la ventilation n'est pas régulée	-	0	*1*	-
Vent	Présence (oui) ou pas (non) de ventilation forcée	.	-	-	-

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
typeusage	Typologie de parking Type= » bureau » ou bien « commerce » ou bien « habitat »	-	-	-	-
Net	Nombre d'étages du parking	-	1	+ ∞	-
Npl	Nombre total de places de stationnement	-	1	+ ∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
ProdCO(h)	Terme source de CO de l'ensemble des véhicules dans le parking (CO à température ambiante) pendant le pas de temps h (h de 1 à 8760)	m^3CO/h
Dreq(h)	Débit de ventilation mécanique requis pour tout le parking pour assurer une concentration en CO de CCOlim pendant le pas de temps h (de 1 à 8760)	m^3/h
Nveh(h)	Trafic de véhicule dans tous le parking exprimé en nombre de mouvements de véhicule par heure (une entrée ou une sortie) pendant le pas de	1/h

	temps h (de 1 à 8760)	
Rmvtpl(h)	Ratio moyen horaire de mouvement par place pendant le pas de temps h (de 1 à 8760)	-
Dtraj	durée moyenne de déplacement d'un mouvement de véhicule	H
Lmoytraj	Longueur moyenne d'un déplacement d'un véhicule	m
Larg	Longueur d'un étage du parking	m
Long	Largeur d'un étage du parking	m
Peri	Périmètre d'un étage du parking	m

Sorties

Nom	Description	Unité
Pvent(h)	Puissance horaire des ventilateurs du parking pendant le pas de temps h de l'heure dans l'année (i de 1 à 8760)	W
Event	Consommation annuelle en énergie active finale des ventilateurs du parking	Wh
$C^{z}_{ef\_park}(h)$	Consommation électrique des parkings (éclairage et ventilation) au pas de temps horaire et par zone	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
Effvent	Efficacité de ventilation en termes de ratio point de mesure donnant la valeur maximum / valeur moyenne dans le parc de stationnement.	-	0,5
CCOlim	Valeur maxi de concentration volumique en CO	m^3Co/m^3 Air	5 10^{-5}
ProdCOveh	Facteur d'émission conventionnel d'un moteur de véhicule en fonctionnement (CO à température ambiante)	m^3Co /h	0,35
Rutil	ratio d'utilisation moyen du parking : nombre moyen de places utilisées sur la période/ nombre de place.	-	1
Dfix	Durée moyenne de fonctionnement du moteur d'un véhicule lorsque le véhicule est à l'arrêt	h	0,01
Vmoy	Vitesse moyenne de déplacement des véhicules dans le parking (10 km/h)	m/h	10000
Rl	Allongement de la surface utile du parking : ratio longueur / largeur	.	2
Spl	Surface d'une place de parking	m^2	2

Tableau 323 : Nomenclature des différentes variables du modèle

10.3.4 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

La description est séquentielle.

La présente fiche algorithme prévoit les sous-chapitres suivants :

- **le calcul des constantes** quelle que soit la typologie d'usage du parking (quelle que soit la valeur de la variable typeusage) est regroupé en **§10.3.4.2.**
- **le calcul de la consommation horaire** du système de ventilation Pvent(h). Trois cas de figure se présentent :
  - le cas du parking ouvert (Type=«ext) pour toutes les typologies d'usage (typeusage) en 10.3.4.3, ou le cas d'un parking fermé sans ventilation mécanique en 10.3.4.4,
  - le cas du parking hors usage d'habitation (typeusage=«bureau« ou «commerce») fermé (Type=«int») et équipé d'une ventilation mécanique en 10.3.4.5.
  - le cas du parking habitation (typesuage=«habitat») fermé (Type=«int») et équipé d'une ventilation mécanique en 10.3.4.6.

L'énergie annuelle est calculée de façon identique pour toutes les typologies d'usage en 10.3.4.7 et 10.3.4.8.

10.3.4.1 *Valeurs par défauts pour Dvent 1 Dvent2 Pvent1 PVENT 2 :*

Les valeurs par défaut suivantes sont ainsi fixées:
Dvent 2 =900.Npl en m3/h
Dvent 1 = 450. Npl en m3/h
Pvent 2 = 40. Npl en W (2380)
Pvent 1 = 5 . Npl. en W
Pvent600 = 40 W/place

10.3.4.2 *Calcul des constantes*

Largeur, longueur et périmètre de chaque étage du parking (identique pour tous les étages du parking) :

$$\mathrm{Larg} = \left(\frac{\mathrm{Spl} \cdot \mathrm{Npl}/\mathrm{Net}}{\mathrm{Rl}}\right)^{1/2} \quad (2381)$$

$$\mathrm{Long} = \mathrm{Rl} \cdot \mathrm{Larg} \quad (2382)$$

$$\mathrm{Peri} = 2 \cdot \mathrm{Long} + 2 \cdot \mathrm{Larg} \quad (2383)$$

Longueur moyenne (moyenne de l'entrée et de la sortie) d'un trajet (entrée sortie non distinguées) dans le parking :

$$\mathrm{Lmoytraj} = \mathrm{Peri} \cdot \left(\frac{\mathrm{Net}}{4} + \frac{1}{4}\right) \quad (2384)$$

Durée moyenne du trajet moyen

$$\mathrm{Dtraj} = \mathrm{Lmoytraj}/\mathrm{Vmoy} \quad (2385)$$

Durée moyenne de fonctionnement du moteur

$$\mathrm{Dmvmvt} = \mathrm{Dfix} + \mathrm{Dtraj} \quad (2386)$$

Le tableau ci-dessous définit Rmvtpl en fonction du n° de fin de l'heure légale du jour courant (quel

que soit le jour courant ie L M M J V S D) et ceci pour les différentes typologies d'usage de la zone.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
bureau personnel	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.308	0.308	0.308	0.154	0.000	0.154	0.154	0.000	0.308	0.308	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
bureau visiteurs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.286	0.286	0.143	0.143	0.143	0.143	0.286	0.286	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
commerce visiteurs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.278	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.556	0.278	0.278	0.000	0.000
spectacle visiteurs	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
habitat	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.190	0.190	0.190	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.190	0.190	0.190	0.095	0.095	0.095	0.000	0.000

Tableau 324 : Valeurs conventionnelles de Rmvtpl(h) en fonction de l'heure légale et du type de local.

La valeur de **Rmvtpl(h)** est fonction du scénario d'usage repéré par le paramètre **typeusage :**

Si **typeusage**= « bureau » :
Rmvtpl(h)=tableau ci-dessus ligne « bureau personnel »

Si **typeusage**= « commerce »
Rmvtpl(h)=tableau ci-dessus ligne « commerce visiteur»

Si **typeusage** = « habitat » :
Rmvtpl(h)=tableau ci-dessus ligne « habitat »

En l'état actuel, certaines lignes de ce tableau ne sont donc pas utilisées.

10.3.4.3 *Calculs de Pvent(h) pour le cas des parking ouverts*

Les parkings ouverts ne sont pas munis de dispositifs de ventilation :

Si **Type**= «ext» alors :

$$\text{Pvent(h)} = 0, \text{pour tout pas de temps h} \qquad (2387)$$

Les paragraphes suivants sont alors ignorés.

10.3.4.4 *Calculs de pVent(h) pour le cas des parkings sans ventilation forcée :*

Si **Ventilation**= « non » alors :

$$\text{Pvent(h)} = 0, \text{ pour tout pas de temps h} \qquad (2388)$$

Les paragraphes suivants sont alors ignorés.

10.3.4.5 *Calcul de pvent(h) pour le cas du parking de type d'usage hors usage d'habitation et de type fermé :*

Cette section est applicable uniquement pour le cas où **Type**= « int » ET (**typeusage** = «bureaux» OU **typeusage**= «commerce»).

10.3.4.5.1 Calcul du besoin en débit horaire de ventilation Dreq(h) :

Pour chaque pas de temps h dans l'année (de 1 à 8760) :

Si pour le numéro du jour dans l'année j NbjO(j)=1 alors : (le parking est ouvert)

$$\text{Dreq(h)} = \frac{\text{ProdCO(h)}}{\text{CCOlim} \cdot \text{Effvent}} \qquad (2389)$$

Calcul du terme source ProdCO :

$$\mathrm{ProdCO(h)} = \mathrm{ProdCOveh} \cdot \mathrm{Nveh(h)} \cdot \mathrm{Dmvmt} \quad (2390)$$

Calcul du nombre de mouvement de véhicule par heure Nveh(h):

$$\mathrm{Nveh(h)} = \mathrm{Npl} \cdot \mathrm{Rutil} \cdot \mathrm{Rmvtpl(h)} \quad (2391)$$

Fin du calcul Nvéh(h)

Fin du calcul de ProdCO(h) :

$$\text{Sinon } \mathrm{Dreq(h)} = 0 \quad (2392)$$

Fin de l'itération sur le pas de temps h (de 1 à 8760)

10.3.4.5.2 Calcul de la consommation horaire des ventilateurs Pvent(h) :

Pour chaque pas de temps h dans l'année (de 1 à 8760)

Si $\mathbf{Dreq(h) = 0}$ alors :

$$\mathrm{Pvent(h)} = 0 \quad (2393)$$

Sinon :

$$\text{si } \mathrm{Dvent1} > \mathrm{Dreq(h)} \text{ alors} \quad (2394)$$

$$\mathrm{Pvent(h)} = \mathrm{Dreq(h)} \cdot \mathrm{Pvent1/Dvent1} \quad (2395)$$

Sinon :

$$\mathrm{Pvent(h)} = \mathrm{Dreq(h)} \cdot \mathrm{Pvent2/Dvent2} \quad (2396)$$

Fin de l'itération sur le pas de temps h (de 1 à 8760)

10.3.4.6 *Calcul de pvent(h) et pour le cas d'un parking en usage d'habitation, et fermé :*

Cette section s'applique uniquement si **Type**= «int» ET **typeusage**= «habitat»

10.3.4.6.1 Calcul de la puissance électrique absorbée par les ventilateurs P_vent(h)

Si le système est régulé, c'est-à-dire si Reg = 1 alors

Pour chaque pas de temps h dans l'année (de 1 à 8760) :

Si pour le numéro du jour dans l'année j, NbjO(j) = 1, alors (le parking est ouvert) :

$$\mathrm{Pvent(h)} = \mathrm{Pvent600} \cdot \mathrm{Npl} \cdot \mathrm{Rutil} \cdot \mathrm{Rmvtpl(h)} \quad (2397)$$

Sinon :

$$\mathrm{Pvent(h)} = 0 \quad (2398)$$

Sinon (Reg = 0 : le système n'est pas régulé), alors, quelle que soit la valeur de h:

$$\mathrm{Pvent(h)} = \mathrm{Pvent600} \cdot \mathrm{Npl} \cdot \mathrm{Rutil} \quad (2399)$$

10.3.4.7 *Calcul de la consommation annuelle du système de ventilation par zone*

Le calcul de la consommation Event (exprimé en Wh) est commun à tous les scénarios d'usage, c'est-à-dire, quelle que soit la valeur de Type ou de typeusage :

$$\mathrm{Event} = \sum_1^{8760} \mathrm{Pvent(h)} \quad (2400)$$

La consommation Event est répartie au prorata des surfaces $S_{\_RT}$ des différentes zones du bâtiment.

10.3.4.8 *Ajout de la consommation de ventilation horaire des parkings à la consommation électrique horaire des parkings répartie par zone*

La puissance absorbée par les ventilateurs Pvent(h) est répartie au prorata des surfaces conventionnelles S_{RT} des zones, puis ajoutée à la consommation électrique des parkings attribuée à chaque zone $C^{z}_{ef\_park}(h)$.

10.4 C_ECL_calcul des consommations d'éclairage des parkings

10.4.1 INTRODUCTION

Ce modèle calcule la consommation annuelle et horaire en énergie finale de l'éclairage (hors éclairage de secours) d'un parking. Ce parking peut être de deux types :

- soit un parking externe, on suppose alors l'accès à la lumière du jour parfaite (la voute céleste est totalement visible en tout point du parking) ;

- soit un parking interne, on suppose alors l'accès à la lumière du jour nul en permanence.

Un parking est décrit et calculé au niveau du projet au sens de la méthode Th-BCE 2012. Sa consommation est ensuite répartie entre chaque zone des bâtiments, au prorata de sa surface S_{REF}.

Le parking est caractérisé par les éléments opposables suivants :

- **la puissance électrique totale installée pour l'éclairage** qui comprend : les éventuels rampes ou couloir d'accès, les circulations piétonnes,…, et la zone de stationnement proprement dite. Cette puissance ne comprend pas : les panneaux signalétiques, les panneaux de publicité, la signalisation d'occupation de place, les automates de billetterie, les caméras de surveillance, la motorisation des barrières d'accès au parking et les BAES ;
- **le planning de fermeture du parking à l'échelle de l'année** ainsi appréhendé :
  le nombre de semaines de fermeture totale 24h/24h, puis dans les semaines restantes, les horaires (heures légales) d'ouverture découpées en deux blocs du lundi au vendredi indifféremment puis du samedi au dimanche indifféremment ;
- **les plages horaires dans la semaine (heures légales) ou l'éclairage est contrôlé par détection de présence, le reste étant supposé en marche forcée** ;
- **l'extinction ou pas de l'éclairage en période de fermeture**.

La modélisation ne prend pas en compte une possibilité de gradation de la puissance d'éclairage et considère que pendant les plages de fermeture, l'éclairage est soit en marche forcée soit totalement éteint.

10.4.2 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
C_Eex_Climat extérieur	jsem	Numéro du jour de la semaine, 1 correspond au lundi	-
	Htsmf	Heure de fin du pas de temps en temps UTC	heure
	Hleg	Heure légale	heure
	S_{REF}^{zn}	Surface de référence au sens de la zone n°z	m²

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Pec_{ins}	Puissance totale de l'éclairage installé dans le parking.	W	1	+ ∞	-

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Type	Type de parking soit intérieur = « int » soit extérieur = « ext »	-	-	-	-
Net	Nombre d'étages du parking	-	1	+ ∞	-
Npl	Nombre total de places de stationnement	-	1	+ ∞	-
NbjO(j)	Calendrier annuel des jours ouvrés (=1) ou fermé (= 0)	-	0	1	-
PlagOse	Plage horaire d'ouverture en semaine du L au V du parking définie par le couple (heure légale d'ouverture, heure légale de fermeture)	heure, heure	(0,0)	*(23,23)*	-
PlagOwe	Plage horaire d'ouverture en week-end du parking définie par le couple (heure légale d'ouverture, heure légale de fermeture)	heure, heure	(0,0)	*(23,23)*	-
PlagDsej	Plages horaires en semaine du L au V de fonctionnement du dispositif d'éclairage en mode de détection définies par les couples (heure légale de démarrage, heure légale de fermeture)j pour ce mode. Il y a au maximum j=3 plages.	heure, heure	(0,0)	*(23,23)*	-
PlagDwej	Plages horaires en week end de fonctionnement du dispositif d'éclairage en mode de détection définies par les couples (heure légale de démarrage, heure légale de fermeture) j pour ce mode. Il y a au maximum j=3 plages.	heure, heure	(0,0)	*(23,23)*	-
Ex	Extinction de l'éclairage si le parking est fermé 0= oui ; 1=non	-	0	1	-

Variables internes

Nom	Description	Unité

Ouv(h)	Vecteur (de 8760 composantes) ouverture parking pendant l'heure h de l'année : 1 -> « parking ouvert » et 0 -> « parking fermé ».	-
Det(h)	Vecteur (de 8760 composantes) mode de régulation de l'éclairage pendant l'heure h de l'année : 0 -> « marche forcée » et 1 -> « marche sur détection ».	-
Fh(h)	Vecteur taux horaire de besoin d'éclairage du parking considéré pendant l'heure h de l'année (0.= aucun besoin d'éclairage; 1.= besoin d'éclairage pendant toute l'heure). 8760 composantes.	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Eec	Scalaire, consommation d'énergie finale annuelle de l'installation d'éclairage du parking	Wh
$Pec_{app}(h)$	Vecteur, puissance horaire moyenne appelée par l'éclairage du parking pendant l'heure h de l'année, 8760 composantes.	W
$C^{z}_{ef\_park}(h)$	Consommation électrique des parkings (éclairage et ventilation) au pas de temps horaire et par zone	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$Fh_{int}(h)$	Vecteur (de 8760 composantes) taux horaire du besoin d'éclairage pendant l'heure h de l'année pour les parkings intérieurs. (0.= aucun besoin pendant l'heure ; 1.= besoin pendant toute l'heure).	-	1
$Fh_{ext}(h)$	Vecteur taux horaire de besoin d'éclairage pendant l'heure h de l'année pour les parkings extérieurs. (0.= aucun besoin pendant l'heure ; 1.= besoin pendant toute l'heure).8760 composantes.	-	
TauDet(h)	Vecteur (de 8760 composantes) taux d'usage pour chaque heure h de l'année de la puissance d'éclairage quand l'éclairage est en mode de détection de présence.	-	

Tableau 325 : Nomenclature des différentes variables du modèle

10.4.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

10.4.3.1 ***Définition des constantes du module***

Pour un parking intérieur, le taux horaire de besoin d'éclairage $Fh_{int}(h)$ est toujours le même quelles que soient l'heure de la journée ou la période de l'année, d'où :

$$Fh_{int}(h) = 1 \; \forall h \in [1{,}8760] \qquad (2401)$$

$Fh_{ext}(h)$ est défini par le tableau suivant exprimé en heure légale de fin de pas de temps.

1 à 6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	0,79	0,48	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,2	0,36	0,5	0,65	0,84	1	1

Tableau 326 : Valeurs de $Fh_{ext}(h)$ en fonction de l'heure légale

$$TauDet(h) = 0{,}2 \; \forall h \in [1{,}8760] \qquad (2402)$$

Note : on considère que l'éclairage en mode détection de présence apporte un abattement conventionnel de consommation de 80%.

10.4.3.2 ***Définition des valeurs par défaut***

Pour les heures d'ouverture et les heures de détection par défaut :

- **NbjO(j) = 1 pour tout j, c'est à dire, « parking ouvert tous les jours » ;**
- **PlagOse = {0 ; 23} (24h/ 24h), c'est à dire, « plage horaire d'ouverture en semaine 24h / 24h » ;**
- **PlagOwe = {0 ; 23} (24h/ 24h), c'est à dire, « plage horaire d'ouverture en we 24h / 24h » ;**
- **$PlagDse^j$ = {0 ; 0}, c'est à dire, « pas détection de présence en semaine » ;**
- **$PlagDwe^j$ = {0 ; 0}, c'est à dire, « pas détection de présence en week-end ».**

Pour la puissance électrique de l'éclairage installé (exprimée en W) :

Si parking du type « int » (parking intérieur) :
$Pec_{ins} = Npl \times 75$ (2403)

Si parking du type « ext » (parking extérieur) :
$Pec_{ins} = Npl \times 8$ (2404)

Avec Npl le nombre de place du parking et Net le nombre d'étages du parking.

10.4.3.3 ***Séquence de saisie des données***

La séquence logique de saisie de données, commune à l'éclairage et la ventilation des parkings, est la suivante :

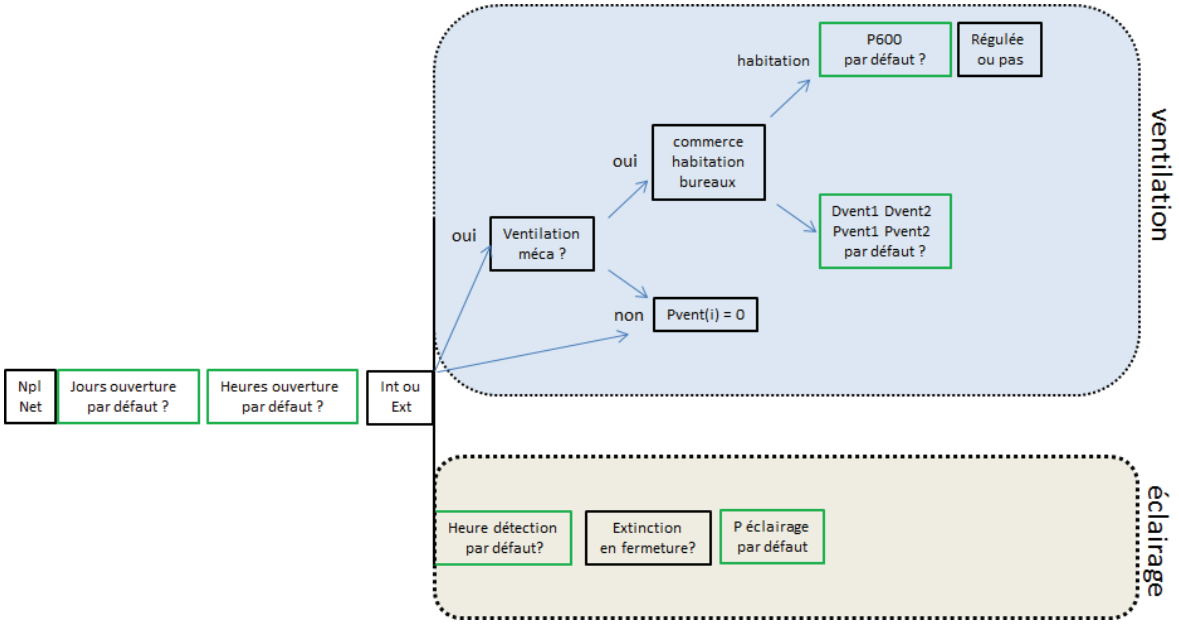


Figure 211 – Séquence logique de définition des paramètres d'éclairage et ventilation des parkings

10.4.3.4 *Calcul du vecteur horaire Ouv(i) (ouverture du parking)*

Pour chaque heure h de l'année (de 1 à 8760) :
si avec j le jour dans l'année NbjO(j) = 1
si jsem ∈ [1,5] (on est L M M J ou V)
si Hleg ∈ [PlagOse[
alors Ouv(h) = 1.
sinon Ouv(h) = 0. (2405)
sinon (le jour dans l'année est S ou D)
si Hleg ∈ [PlagOwe[
alors Ouv(h) = 1.
sinon Ouv(h) = 0.
sinon Ouv(h)=0.

10.4.3.5 *Calcul du vecteur horaire Det(i) (mode de régulation de l'éclairage)*

Pour chaque heure h de l'année (de 1 à 8760) :
si avec j le jour de l'année NbjO(j) = 1
si jsem ∈ [1,5] (on est L M M J ou V)
si Hleg∈ $\cup_{j=1 \text{ à } 3}$[$PlagDse^j$[(l'heure légale est dans une des trois plages)
alors Det(h)=1.
sinon Det(h)=0. (2406)
sinon (le jour dans l'année est S ou D)
si Hleg∈ $\cup_{j=1 \text{ à } 3}$[$PlagDwe^j$[
alors Det(h)=1.
sinon Det(h)=0.
sinon Det(h)=0.

10.4.3.6 *Calcul du vecteur horaire Fh(h) (besoin horaire d'éclairage)*

Pour chaque heure h dans l'année (de 1 à 8760) :

$$\text{Si Type} = \text{int alors Fh(h)} = \text{Fh}_{\text{int}}(\text{h}) \text{ sinon Fh(h)} = \text{Fh}_{\text{ext}}(\text{h}) \quad (2407)$$

10.4.3.7 *Calcul du vecteur horaire d'appel de puissance*

Pour chaque heure h dans l'année (de 1 à 8760) :

$$\text{Pec}_{\text{app}}(\text{h}) = \text{Pec}_{\text{ins}} \cdot \left[\text{Ouv(h)} \cdot \text{Fh(h)} \cdot (1 - \text{Det(h)} + \text{Det(h)} \cdot \text{TauDet(h)}) + \left(1 - \text{Ouv(h)}\right) \cdot \text{Ex}\right] \quad (2408)$$

10.4.3.8 *Calcul de la consommation annuelle*

$$\text{Eec} = \sum_{\text{h}=1}^{8760} \text{Pec}_{\text{app}}(\text{h}) \quad (2409)$$

10.4.3.9 *Ajout de la consommation d'éclairage horaire des parkings à la consommation électrique horaire des parkings répartie par zone*

La puissance d'éclairage $\text{Pec}_{\text{app}}(\text{h})$ calculée est répartie proportionnellement aux surfaces conventionnelles S_{REF} des zones, puis ajoutée à la consommation électrique des parkings attribuée à chaque zone $\text{C}^{\text{z}}_{\text{ef\_park}}(\text{h})$.

11. PERTES

11.1 C_PER_Pertes et consommations électriques récupérables

11.1.1 INTRODUCTION

L'ensemble des pertes et consommations électriques récupérables des systèmes sont obtenues à partir des pertes récupérables calculées dans les différentes fiches composants constituant les systèmes.

Elles sont sommées, distribuées entre les groupes, puis injectées sous forme d'apports internes au pas de temps suivant. Le processus a lieu au niveau du bâtiment.

Les pertes potentiellement récupérables sont les suivantes :

- Pertes de distribution vers des espaces chauffés des réseaux primaires et secondaires de chauffage ou de refroidissement,
- Pertes de distribution vers des espaces chauffés des réseaux primaires et secondaires d'ECS,
- Pertes récupérables de stockages des ballons ECS individuels et collectifs,
- Pertes récupérables des générations de chaud, de froid et d'ECS.
- Pertes récupérables des réseaux des systèmes solaires thermiques.

Les consommations électriques potentiellement récupérables sont les suivantes :

- Les consommations électriques des ventilateurs locaux des émetteurs,
- Les consommations électriques des circulateurs des distributions.

Les consommations électriques des auxiliaires de génération ne sont pas considérées comme récupérables.

11.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 327 donne la nomenclature des différentes variables de la présente fiche.

Dans toute la suite de la fiche, on notera h le pas de temps de simulation et j le jour de simulation.

Entrées du composant

	Nom	Description	Uni
Ventilateurs locaux	$\Phi_{vent\_loc\_vc}^{gr}(h)$	Energie consommée par les ventilateurs locaux de l'ensemble des émetteurs du groupe *gr*, et transmise au groupe sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{th-BA-vc}^{gr}(h)$	Energie consommée par les brasseurs d'air du groupe gr, et transmise au groupe sous forme de chaleur.	Wh
Circulateurs des réseaux de ch et de froid	$\Phi_{aux\_vc}^{ds}(h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau secondaire transmise aux groupes sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{aux\_vc}^{dp}(h)$	Energie consommée par le circulateur du réseau primaire transmise aux groupes sous forme de chaleur.	Wh
Pertes des réseaux de chaud et froid	$\Phi_{pertes\_vc}^{ds}(h)$	Pertes de distribution des réseaux secondaires de chaud et de froid vers des espaces chauffés (pertes récupérables).	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}^{dp}(h)$	Pertes de distribution des réseaux primaires de chaud et de froid vers des espaces chauffés (pertes récupérables).	Wh
	$Rat_{surf}^{dp,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par le réseau de distribution primaire	Réel
Pertes des réseaux d'ECS	$\Phi_{pertes\_vc}^{ds\_e}(h)$	Pertes de distribution des réseaux secondaires d'ECS vers des espaces chauffés.	Wh
	$\Phi_{pertes\_vc}^{dp\_e}(h)$	Pertes de distribution des réseaux primaires d'ECS vers des espaces chauffés	Wh
ECS décentrali.	$\Phi_{déc\_vc}^{sto}(h)$	Pertes vers des espaces chauffés des systèmes de stockages décentralisés de l'ECS.	Wh
	$\Phi_{déc\_vc}^{gnr}(h)$	Pertes et consommations des auxiliaires des générateurs décentralisés transmises au volume chauffé.	Wh
Génération	$\Phi_{vc\_tot}^{gen}(h)$	Pertes et consommations des auxiliaires de la génération transmises au volume chauffé.	Wh
	$Rat_{surf}^{gen,gr}$	Ratio de la surface du groupe *gr* sur la surface totale desservie par la génération pour l'ensemble des postes.	-

Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Uni	Min	Max	Conv.
Parts récupérables sur pertes récupérables	$Part_{recup\_vent\_loc}$	Part récupérable du flux thermique des ventilateurs locaux.	Réel	0	1	1.0
	$Part_{recup\_circ\_chfr}$	Part récupérable des flux thermiques issus des circulateurs de chauffage et refroidissement.	Réel	0	1	0.6
	$Part_{recup\_circ\_ECS}$	Part récupérable des flux thermiques issus des circulateurs des réseaux ECS.	Réel	0	1	0.6
	$Part_{recup\_dgr\_chfr}$	Part récupérable des pertes vers l'ambiance chauffée des distributions du groupe en chaud et en froid.	Réel	0	1	1.0
	$Part_{recup\_dintgr\_chfr}$	Part récupérable des pertes vers l'ambiance chauffée des distributions intergroupes en chaud et en froid.	Réel	0	1	0.6
	$Part_{recup\_dist\_ECS}$	Part récupérable des pertes vers l'ambiance chauffée des distributions d'ECS du groupe ou non.	Réel	0	1	0.6
	$Part_{recup\_dec\_ECS}$	Part récupérable des pertes vers l'ambiance chauffée des éléments décentralisés de production et stockage d'ECS.	Réel	0	1	0.6
	$Part_{recup\_gen}$	Part récupérable des pertes vers l'ambiance chauffée de la génération.	Réel	0	1	0.6
Facteurs de répartition flux convectifs et radiatifs	$Part_{conv\_vent\_loc}$	Part transmise sous forme convective du flux récupérable des ventilateurs locaux.	Réel	0	1	1.0
	$Part_{conv\_autres}$	Part transmise sous forme convective pour l'ensemble des autres flux considérés.	Réel	0	1	0.5

Sorties

	Nom	Description	Unité
Par groupe	$\Phi_{recup\_conv}^{gr}(h)$	Part convective des pertes et consommations électriques des systèmes récupérables par le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{recup\_rad}^{gr}(h)$	Part radiative des pertes et consommation électriques des systèmes récupérables par le groupe *gr*.	Wh

Variables internes

	Nom	Description	Unité
Pertes récupérables par groupe	$\Phi_{vent\_loc\_recup}^{gr}(h)$	Consommation électrique des ventilateurs locaux effectivement récupérable par le groupe sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{aux\_dgr\_recup}^{gr}(h)$	Consommation électrique des circulateurs des réseaux secondaires effectivement récupérable par le groupe sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{aux\_dintgr\_recup}^{gr}(h)$	Consommation électrique des circulateurs des réseaux primaires effectivement récupérable par le groupe sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{aux\_gen\_recup}^{gr}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires de génération effectivement récupérable par le groupe sous forme de chaleur.	Wh
	$\Phi_{pertes\_dgr\_recup}^{gr}(h)$	Pertes totales de distribution des réseaux secondaires de chaud et de froid récupérables par le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_dintgr\_recup}^{gr}(h)$	Pertes totales de distribution des réseaux primaires de chaud et de froid récupérables par le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_dgr\_e\_recup}^{gr}(h)$	Pertes totales de distribution des réseaux secondaires d'ECS récupérables par le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_dintgr\_e\_recup}^{gr}(h)$	Pertes totales de distribution des réseaux primaires d'ECS récupérables par le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_sto\_déc\_recup}^{gr}(h)$	Pertes récupérables des systèmes de stockages d'ECS décentralisés.	Wh
	$\Phi_{pertes\_gnr\_déc\_recup}^{gr}(h)$	Pertes récupérables des générateurs décentralisés qui desservent le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{pertes\_gen\_recup}^{gr}(h)$	Pertes récupérables des générations qui desservent le groupe *gr*.	Wh
	$\Phi_{int}^{gr}(h)$	Total des pertes et consommation des auxiliaires des systèmes récupérables par le groupe *gr*.	Wh

Tableau 327 : Nomenclature du modèle

11.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les pertes et consommations électriques récupérables peuvent être localisées (à l'intérieur d'un groupe), ou non-localisées (communes à plusieurs groupes).

Dans ce deuxième cas, un processus de répartition des pertes a lieu, aux proratas des surfaces utiles des groupes liés au composant.

11.1.3.1 *Attribution des flux récupérables localisées*

Les flux localisés sont ceux associés aux composants rattachés à un groupe directement : ventilateurs locaux, distributions du groupe, et productions d'ECS décentralisées.

Les consommations des ventilateurs locaux sont considérées comme récupérées intégralement dans l'ambiance ($Part_{recup\_vent\_loc} = 100\%$) :

$$\varphi^{gr}_{vent\_loc\_recup}(h) = Part_{recup\_vent\_loc} \times \left(\varphi^{gr}_{vent\_loc\_vc}(h) + \varphi^{gr}_{th-BA-vc}(h)\right) \quad (2410)$$

Les pertes des distributions du groupe en chauffage et refroidissement sont également intégralement récupérables. Elles ne sont récupérables qu'à 60% pour l'ECS, dans la mesure où les distributions sont situées majoritairement dans des locaux où l'air est extrait. ($Part_{recup\_dgr\_chfr} = 100\%$,$Part_{recup\_dgr\_ECS} = 60\%$).

$$\phi^{gr}_{pertes\_dgr\_recup}(h) = Part_{recup\_dgr\_chfr} \times \sum_{ds \in gr} \phi^{ds}_{pertes\_vc}(h) \quad (2411)$$

$$\phi^{gr}_{pertes\_dgr\_e\_recup}(h) = Part_{recup\_dist\_ECS} \times \sum_{ds-e \in gr} \phi^{ds-e}_{pertes\_vc\_2nd\_e}(h) \quad (2412)$$

Le flux issus des circulateurs de chauffage et de refroidissement est considéré récupérable à 60%.

$$\phi^{gr}_{aux\_dgr\_recup}(h) = Part_{recup\_circ\_chfr} \times \sum_{ds \in gr} \phi^{ds}_{aux\_vc}(h) \quad (2413)$$

Dans le cas d'une production centralisée à appoints décentralisés (CESCI, PCAD), les pertes des ballons décentralisés et celles de leurs générateurs d'appoint sont localisées. Tout comme pour les distributions d'ECS, les pertes ne sont considérées récupérables qu'à 60%.

$$\begin{aligned} \phi^{gr}_{pertes\_sto\_déc\_recup}(h) &= Part_{recup\_dec\_ECS} \times \sum_{sto \in gr} \phi^{sto}_{déc\_vc}(h) \\ \phi^{gr}_{pertes\_gnr\_déc\_recup}(h) &= Part_{recup\_dec\_ECS} \times \sum_{sto \in gr} \phi^{gnr}_{déc\_vc}(h) \end{aligned} \quad (2414)$$

11.1.3.2 *Attribution des flux récupérables non-localisés*

Les flux non-localisés sont ceux associés aux composants non-rattachés directement à un groupe : distributions intergroupes et génération. On considère conventionnellement que la position de ces composants se traduit par une part récupérable de 60%.

$$\begin{aligned} \phi^{gr}_{aux\_d\,int\,gr\_recup}(h) &= Part_{recup\_circ\_chfr} \times \sum_{dp \to gr} \left(Rat^{dp,gr}_{surf} . \phi^{dp}_{aux\_vc}(h)\right) \\ \phi^{gr}_{pertes\_d\,int\,gr\_recup}(h) &= Part_{recup\_d\,int\,gr\_chfr} \times \sum_{dp \to gr} \left(Rat^{dp,gr}_{surf} . \phi^{dp}_{pertes\_vc}(h)\right) \end{aligned} \quad (2415)$$

$$\phi^{gr}_{aux\_d\ int\ gr\_e\_recup}(h) = Part_{recup\_circ\_ECS} \times \sum_{dp \to gr} \left(Rat^{dp,gr}_{surface\_prim\_e} . \phi^{dp-e}_{aux\_vc}(h) \right)$$

$$\phi^{gr}_{pertes\_d\ int\ gr\_e\_recup}(h) = Part_{recup\_dist\_ECS} \times \sum_{dp-e \to gr} \left(Rat^{dp,gr}_{surface\_prim\_e} . \phi^{dp-e}_{pertes\_vc\_prim\_e}(h) \right) \quad (2416)$$

$$\phi^{gr}_{pertes\_gen\_recup}(h) = Part_{recup\_gen} \times \sum_{gen \to gr} \left(Rat^{gen,gr}_{surf} . \phi^{gen}_{vc\_tot}(h) \right) \quad (2417)$$

11.1.3.3 *Calcul des apports internes récupérables des systèmes totaux par groupe*

On réalise ensuite la sommation totale des pertes et consommations électriques récupérables au niveau du groupe et on effectue la répartition entre part convective et radiative.

La part des flux transmis sous forme convective est prise égale à 50% pour l'ensemble des composants, à l'exception des ventilateurs locaux.

Pour chaque groupe gr du bâtiment :

$$\phi^{gr}_{recup}(h) = \phi^{gr}_{vent\_loc\_recup}(h) + \phi^{gr}_{aux\_2nd\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_2nd\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_2nd\_e\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_sto\_déc\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_gnr\_déc\_recup}(h) + \phi^{gr}_{aux\_prim\_recup}(h) + \phi^{gr}_{aux\_prim\_e\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_prim\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_prim\_e\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_gen\_recup}(h) \quad (2418)$$

$$\phi^{gr}_{recup\_conv}(h) = Part_{conv\_vent\_loc} . \phi^{gr}_{vent\_loc\_recup}(h) + Part_{conv\_autres} . \begin{pmatrix} \phi^{gr}_{aux\_dgr\_recup}(h) + \phi^{gr}_{aux\_d\ int\ gr\_recup}(h) + \phi^{gr}_{aux\_dist\_e\_} \\ + \phi^{gr}_{pertes\_dgr\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_d\ int\ gr\_recup}(h) \\ + \phi^{gr}_{pertes\_dgr\_e\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_d\ int\ gr\_e\_recup}(h) \\ + \phi^{gr}_{pertes\_sto\_déc\_recup}(h) + \phi^{gr}_{pertes\_gnr\_déc\_recup}(h) \\ + \phi^{gr}_{pertes\_gen\_recup}(h) \end{pmatrix} \quad (2419)$$

$$\phi^{gr}_{recup\_rad}(h) = \phi^{gr}_{recup}(h) - \phi^{gr}_{recup\_conv}(h) \quad (2420)$$

$\Phi_{rec up\_conv_{gr}}(h)$ et $\Phi_{rec up\_rad_{gr}}(h)$ sont envoyés au pas de temps h+1 et injectée dans la fiche comportement thermique du groupe *gr*.

12. PRODUCTION LOCALE D'ELECTRICITE

12.1 S1_PV_installation_PV

12.1.1 INTRODUCTION

Un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau est l'assemblage de deux composants :

- "Ensemble de modules connectés à un même onduleur",
- "Onduleur".

Cette fiche algorithme décrit uniquement l'objet "un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet :

- "Ensemble de modules qui sont connectés à un même onduleur".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet :

- "Onduleur".

12.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 328 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de global de production photovoltaïque.

Entrées du système

Nom	Description	Unité
Drp*	Rayonnement direct atteignant les capteurs	W/m²
Dfp*	Rayonnement diffus atteignant les capteurs	W/m²
Rrp*	Rayonnement réfléchi atteignant les capteurs	W/m²
θ	Angle entre le rayonnement incident direct et la normale au module en degrés	°
T_a	Température de l'air ambiant extérieur	°C
Vent	La vitesse du vent corrigée à 10 m de hauteur	m/s

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
N	Nombre de modules PV composant le champ photovoltaïque.	.	1	-	
C_T	Le degré de confinement thermique de la face arrière des modules 3 niveaux offerts à l'utilisateur 1 // 1.5 // 2.	.	1	2	
β	Inclinaison par rapport à l'horizontale des modules.	°	0	90	
□	Azimut, de la surface plane formée par les modules	°	0	360	-

Sorties

Nom	Description	Unité
Pond	Puissance électrique délivré par l'onduleur sur le réseau	W

Variables internes

Nom	Description	Unité
P_{PV}	La puissance MPPT des modules effectivement absorbée par l'onduleur.	W

Tableau 328 : Nomenclature des différentes variables du modèle

12.1.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

L'organisation de l'installation PV est la suivante :

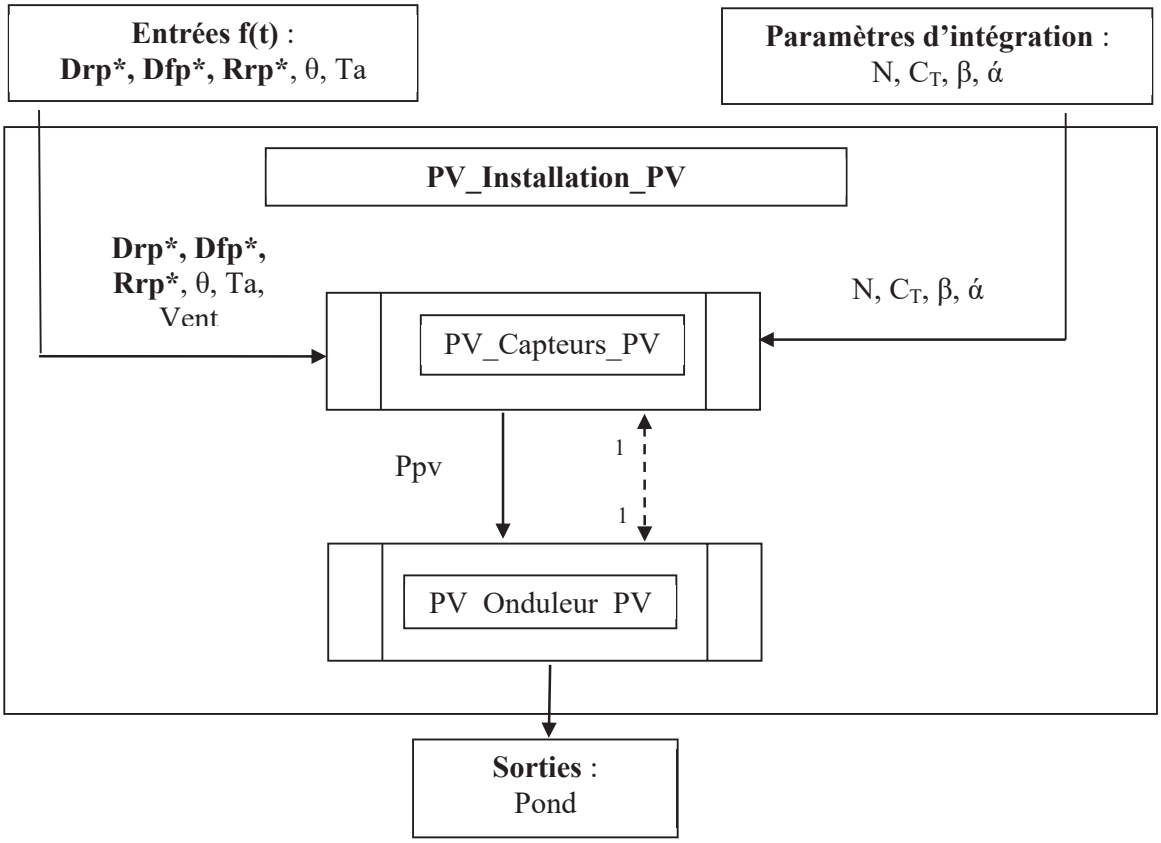


Figure 212 – schéma de l'organisation de l'installation photovoltaïques

12.2 **S2_PV_global_PV**

12.2.1 INTRODUCTION

Le présent assemblage permet la production d'électricité photovoltaïque en appelant les composants nécessaires :

- l'environnement proche,

- l'installation photovoltaïque, constituée des panneaux et de l'onduleur.

Dans un projet, cet ensemble doit être utilisé pour chaque type de panneaux qui différeraient par leurs caractéristiques d'installation ou par leurs caractéristiques propres.

12.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 329 donne la nomenclature des différentes variables du modèle production photovoltaïque.

Entrées du système

Nom	Description	Unité
I_{Dn}	Rayonnement solaire direct normal	W/m²
Idi	Rayonnement solaire diffus isotrope	W/m²
T_a	Température de l'air ambiant extérieur	°C
ψ	Azimut du soleil (Angle du soleil par rapport au sud)	rd
γ	Hauteur du soleil	rd
Vent	La vitesse du vent à 10 m de hauteur	m/s

Paramètres d'intégration du système

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
α	Azimut des modules (0° : Sud ; 90° : Ouest ; 180° : Nord ; 270° : Est)	°	0°	360	-
β	Inclinaison par rapport à l'horizontale des modules. (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale).	°	0°	90	-
Az	Angle des différentes tranches Azimutales	°	0	90	-
γ_i	Hauteur en (°) de l'horizon vu du centre de la paroi intégrant les masques naturels et urbains existants et futurs pour chaque tranche azimutale	°	0	90	-
N	Nombre de modules PV composant le champ photovoltaïque. *Doit être rendu dispo en sortie aussi.*	.	1	-	
C_T	Le degré de confinement thermique de la face arrière des modules 3 niveaux offerts à l'utilisateur 1 // 1.5 // 2.	.	1	2	
lp_b	Largeur du panneau	m	0	+∞	-
hp_b	Hauteur du panneau	m	0	+∞	-
d_E	Distance entre le masque vertical lointain et le panneau	m	0	+∞	-
hp_E	Hauteur du masque lointain vertical par rapport au centre du panneau	m	0	+∞	-
alb	Albédo du sol pour le rayonnement solaire	-	-	-	0,2

Sorties

Nom	Description	Unité
Pond	Puissance électrique délivré par l'onduleur sur le réseau en énergie finale	W

Tableau 329 : Nomenclature des différentes variables du modèle

12.2.3 ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS

L'organisation de l'installation globale PV est la suivante :

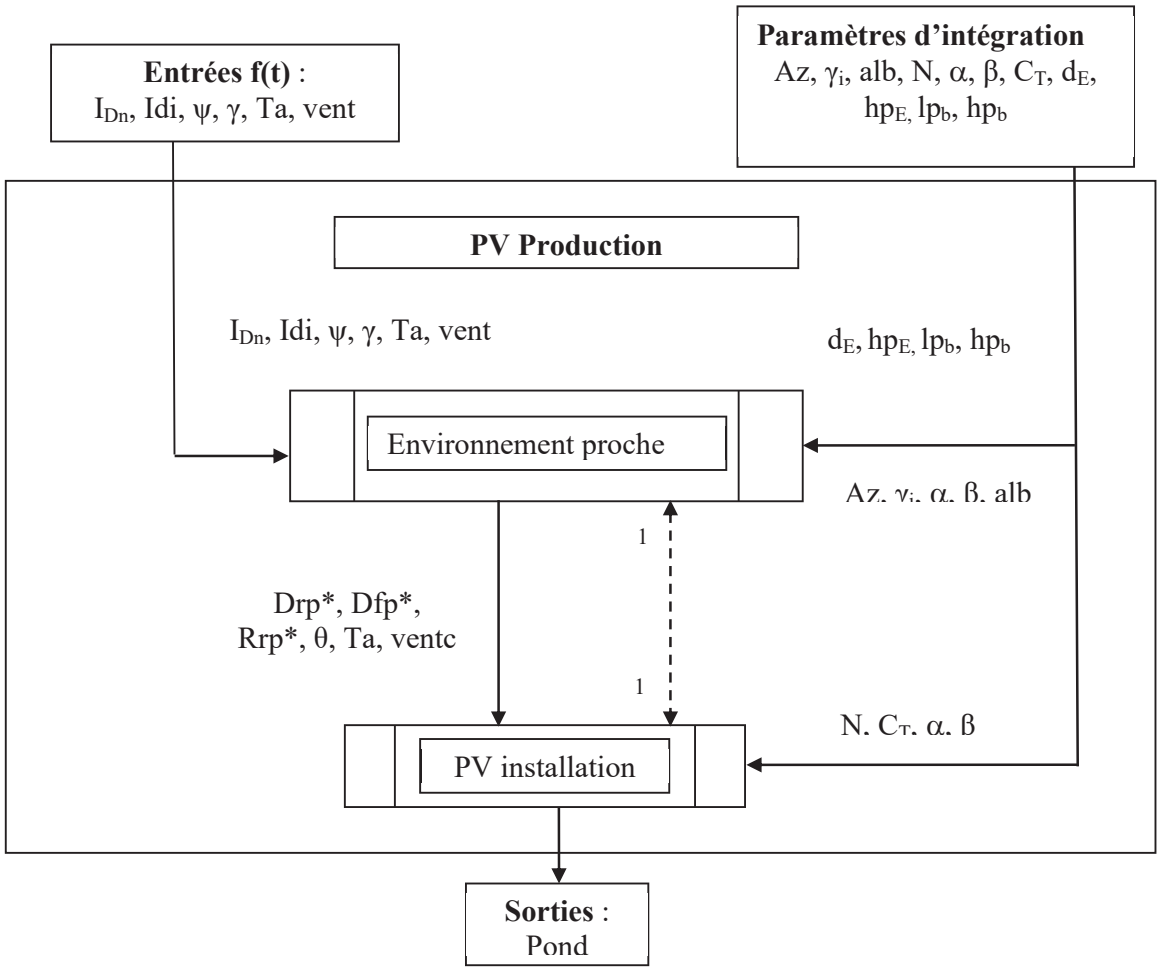


Figure 213 – schéma de l'organisation de l'installation photovoltaïques

12.3 C_PV_capteur_PV

12.3.1 INTRODUCTION

Un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau est l'assemblage de deux composants :

- "ensemble des modules connectés à un même onduleur",

- "onduleur".

Cette fiche algorithme décrit uniquement l'objet :

- "Ensemble des modules connectés à un même onduleur".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet :

- "Onduleur".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet résultant de l'assemblage des deux précédents objets :

- "Un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau".

12.3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 330 donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
Drp*	Rayonnement direct incident	W/m²
Dfp*	Rayonnement diffus incident	W/m²
Rrp*	Rayonnement réfléchi incident	W/m²
θ	Angle entre le rayonnement incident direct et la normale au module en degrés	°
Text	Température de l'air ambiant extérieur	°C
Tciel	Température de ciel pour la prise en compte du rayonnement vers la voute céleste	°C
Vent	Vitesse du vent corrigée à 10 m de hauteur	m/s

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Type\_{Techno\_Capteur}$	Identification de la technologie des modules	Entier	0	5	
P_c	Puissance crête nominale garantie d'un module en condition STC : c'est la puissance crête nominale garantie des modules. Elle s'obtient en appliquant sur la puissance crête nominale des modules une tolérance de x %. X % est la tolérance sur la puissance crête nominale en condition STC qui est garantie par le fabricant de modules	W	0	-	0
μ	Coefficient de température de la puissance crête telle que définie dans CEI61215 et CEI61646	$°C^{-1}$	0	0.006	
NOCT	Température d'équilibre thermique du module telle que définie dans CEI61215 et CEI61646	°C	40	90	
Γ	Correctif basse lumière du rendement des modules PV	.	0	+∞	Voir Table au 332
U1	Coefficient de transfert thermique entre le capteur et l'ambiance	$W.m^{-2}.K^{-1}$	0	+∞	Voir équations
U2	Coefficient de transfert thermique entre le capteur et la voûte céleste	$W.m^{-2}.K^{-1}$	0	+∞	5
ΔTc,r	Ecart de température de référence entre la température d'air ambiant et la voûte céleste	°C	-50	+50	-13°C
Fr	Coefficient de correction de l'échange thermique vers la voûte céleste pour une inclinaison de 30° d'angle par rapport l'horizontale	°	0	1	Voir équations

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
N	Nombre de modules PV composant le champ photovoltaïque. *Doit être rendu dispo en sortie aussi.*	.	1	-	
C_T	Le degré de confinement thermique de la face arrière des modules 3 niveaux offerts à l'utilisateur 1 // 1.5// 2.	.	1	2	
β	Inclinaison par rapport à l'horizontale des modules.	°	0	90	
α	Azimut, de la surface plane formée par les modules	°	0	360	-
S	Surface ensoleillée du module en œuvre	m²	0	+∞	

Sorties

Nom	Description	Unité
P_{PV}	La puissance MPPT des modules effectivement absorbée par l'onduleur.	W

Variables internes

Nom	Description	Unité
P_{mpp}	La puissance MPP (*au point de puissance maximum sur la caractéristique U-I*) d'un module en fonction du rayonnement incident efficace et de la température du module T_m.	W
T_m	Température moyennes des modules constituant le champ photovoltaïque.	°C
θ_1	Angle moyen, depuis les modules PV, de rayonnement diffus de ciel depuis les modules PV. C'est une fonction de 1 variable,	°
θ_2	Angle moyen, depuis les modules PV, de rayonnement diffus d'albédo. C'est une fonction de 1 variable,	°
Fopt	Coefficient de perte optique par réflexion. C'est une fonction de 1 variable,	.
G	Rayonnement incident efficace dans le plan des modules C'est une fonction de 5 variables,	.
η_{STC}	rendement électrique du module aux conditions STC	.
μ_util_min	Valeur minimale du coefficient de température de la puissance crête lorsqu'il n'y a pas de valeur certifiée ou de valeur justifiée	$°C^{-1}$
NOCT_util_min	Valeur minimale de la température d'équilibre thermique du module lorsqu'il n'y a pas de valeur certifiée ou de valeur justifiée	°C
F	Coefficient de correction de l'échange thermique vers la voûte céleste pour l'inclinaison réelle β du capteur	°

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$\tau\alpha$	Coefficient de transmission-absorption solaire des modules	.	0.9
Fm	Coefficient de perte par connectique et missmatch	.	0.97

Tableau 330 : Nomenclature des différentes variables du modèle

12.3.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

12.3.3.1 ***Définition des caractéristiques du capteur photovoltaïque***

La liste des technologies de panneaux photovoltaïque prises en compte est la suivante :

	mono cristallin Si	multi cristallin Si	CdTe	CIS	amorphe :Si	autre

Tableau 331 : Listes des technologies dans lequel l'utilisateur doit s'inscrire

Pour les capteurs photovoltaïques, la méthode de calcul offre quatre alternatives dans la définition des performances que sont Pc, Mu et NOCT :

- La saisie directe de la valeur certifiée par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base des normes harmonisées NF EN 61215 ou NF EN 61466,

- La saisie de la valeur justifiée par un essai effectué par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base des normes harmonisées NF EN 61215 ou NF EN 61466,

  Les valeurs de calcul sont définies de la façon suivante :

  0.9* Pc justifiée

  1,10* µ justifié

  1,10* NOCT justifié

- La valeur est déclarée. Les valeurs de calcul sont définies de la façon suivante :

  0.8* Pc déclarée

  Max (1,20* µ déclarée ; µ _util_min)

  Max (1,20* NOCT déclarée ; NOCT_util_min)

- Valeur par défaut. Les valeurs de calcul sont définies de la façon suivante :

  L'entrée d'une valeur de puissance, Pc, est obligatoire.

  0.8* Pc saisie

  (1,20* µ _util_min)

  (1,20* NOCT_util_min)

Avec :

°C-[1]	Mon cristallin SI	Multi cristallin SI	CdTe	CIS	Amorphe Si	Autre
µ _util_min	0,00425	0,00433	0,00208	0,00325	0,00175	0,00433

NOCT_util_min = 40°C

Concernant Γ, correctif basse lumière du rendement des modules PV, il est défini conventionnellement en fonction de la technologie, selon les valeurs du tableau ci-dessous :

	mono cristallin Si		multi cristallin Si		CdTe		CIS		amorphe : Si		autre	
	source	défaut	source	défaut	source	défaut	source	défaut	source	défaut	source	défaut
Γ [.]	ND	0.07	ND	0.07	ND	0.00	ND	0.07	ND	0.00	ND	0.07

Tableau 332 : Valeurs par défaut de Γ disponibles pour l'utilisateur en fonction de la technologie

Le rendement STC du capteur photovoltaïque se déduit des paramètres précédemment définis

$$\eta_{STC} = Pc / (S*1000) \quad (2421)$$

Le capteur photovoltaïque est caractérisé par ses coefficients d'échange thermiques U1 et U2 avec l'air ambiant et avec la voûte céleste, qui sont tous deux fixés conventionnellement :

$$U1 = \frac{1}{Ct}.\left[\frac{\tau\alpha.800}{(NOCT-20)} - \frac{Fr.U2.(NOCT-\Delta Tc,r-20)}{(NOCT-20)}\right] \quad (2422)$$

$$U2 = 5\ W/m^2.K \quad (2423)$$

Où Fr est le coefficient de correction pour l'échange vers la voûte céleste correspondant à une inclinaison de 30° par rapport à l'horizontale :

$$Fr = \frac{1+\cos(30°)}{2} \quad (2424)$$

On définit également l'équivalent de Fr, mais pour l'inclinaison réelle du capteur β :

$$F = \frac{1+\cos(\beta)}{2} \quad (2425)$$

12.3.3.2 *Modélisation au pas de temps horaire*

Le cœur du modèle est constitué par la relation suivante permettant de calculer la puissance électrique produite par le module au pas de temps h, P_{PV} :

$$P_{pv} = P_{mpp}(G,Tm).N.Fm \quad (2426)$$

Avec :

- $P_{mpp}(G,Tm)$, la puissance MPP (au point de puissance maximum sur la caractéristique U-I) d'un module en fonction du rayonnement incident efficace et de la température du module $T_{m,}$
- G, le rayonnement incident efficace total sur le plan du module en W,
- T_m, la température de module en °C.

Définition de $P_{mpp}(G,Tm)$:

P_{mpp} [W]: la puissance d'un module (au point de puissance maximum sur la caractéristique U-I) en fonction du rayonnement incident efficace G et de la température du module T_m:

$$P_{mpp}(G,T_m) = P_c.\frac{G}{1000}.Max\left(0{,}1+\Gamma.Ln\left(\frac{Max\left(110^{-4},G\right)}{1000}\right)\right).(1-\mu(T_m-25)) \quad (2427)$$

Définition de la température du module Tm :

La température du module calculée comme suit :

$$T_m = \frac{U1.T_{ext}}{U1 + F.U2} + \frac{F.U2.T_{ciel}}{U1 + F.U2} + \frac{G.(\tau\alpha - \eta_{STC})}{U1 + F.U2} \quad (2428)$$

Définition de G :

G, [W/m^2]: rayonnement incident efficace dans le plan des modules :

$$G = (\mathrm{Fopt}(\theta).\mathrm{Drp}^* + \mathrm{Fopt}(\theta_1).\mathrm{Dfp}^* + \mathrm{Fopt}(\theta_2).\mathrm{Rrp}^*)$$

Définition de la fonction Fopt(x) :

$Fopt(x)$, [.] : $Fopt(x) = 1 - 0.05.(\frac{1}{\cos(MIN(87,x).\frac{\pi}{180})-1})$: coefficient de perte optique par réflexion.

x , [°] : angle par rapport à la normale au module.

Définition de la fonction θ_1 :

θ_1, [°] : $\theta_1 = 59.7 - 0.13888.\beta + 0.001497.\beta^2$ angle moyen de rayonnement diffus de ciel par rapport à la normale aux modules.

Définition de la fonction θ_2 :

θ_2 , [°] : $\theta_2 = 90 - 0.5788.\beta + 0.002693.\beta^2$ angle moyen de rayonnement diffus d'albédo par rapport à la normale aux modules.

Définition de C_T :

C_T , [.] : Coefficient de confinement thermique, 3 niveaux possibles sont offerts à l'utilisateur :

Face arrière libre : $\delta = 1$ (*exemple : brise soleil avec face arrière directement en contact avec l'air ambiant*).

Face arrière confiné : $\delta = 2$ (*exemple : intégration sur toiture isolée et sans ventilation aménagée* ***spécifiquement*** *pour le champ PV ou double vitrage en face arrière*).

Autre : $\delta = 1.5$

Valeur par défaut : $\delta = 2$

12.4 C_PV_onduleurs_PV

12.4.1 INTRODUCTION

Un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau est l'assemblage de deux composants :

-"ensemble des modules connectés à un même onduleur",

-"onduleur".

Cette fiche algorithme décrit uniquement l'objet :

- "Onduleur".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet :

- "Ensemble de modules connectés à un même onduleur".

Une autre fiche algorithme décrit l'objet résultant de l'assemblage de deux précédents objets :

- "Un champ photovoltaïque intégré au bâtiment et connecté au réseau".

12.4.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 333 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de l'objet onduleur.

Entrées du composant

Nom	Description	Unité
P_{PV}	La puissance MPPT des modules effectivement absorbée par l'onduleur (*énergie finale*).	W

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$P_{AC\ NOM}$	La puissance nominale AC (*côté courant alternatif*) de l'onduleur.	W	0	-	
η_{EU}	Le rendement européen de l'onduleur	.	0	1	

Sorties

Nom	Description	Unité
Pond	Puissance électrique délivrée par l'onduleur sur le réseau	W

Variables internes

Nom	Description	Unité
η_{OND}	Le rendement électrique sortie/entrée de l'onduleur.	.
LIM	Limiteur de puissance d'entrée si P_{PV} >1.15 $P_{AC\ NOM}$. Fonction à une variable.	.

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
$\eta_{ONDBASE}$	Rendement électrique par défaut	-	0.9

Tableau 333 : Nomenclature des différentes variables du modèle

12.4.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Le modèle d'un onduleur est constitué d'une équation explicite, au pas de temps horaire :

$$\text{Pond} = \text{P}_{PV}.\eta_{OND}\left[\frac{\text{P}_{PV}}{\text{P}_{ACNOM}}\right].LIM(\frac{\text{P}_{PV}}{\text{P}_{ACNOM}} \quad (2429)$$

Valeur de $P_{AC\ NOM}$:

Si l'utilisateur ne connait pas $P_{AC\ NOM}$, cette variable doit prendre la valeur par défaut suivante : $P_{AC\ NOM}$ = 0.8 x N x Pc avec (N,Pc) hérité du paramétrage du champs photovoltaïque connecté à cet onduleur.

Définition de la fonction η_{OND} :

η_{OND}, [.] : le rendement total (conversion + MPPT) de l'onduleur :

Cas n° 1 : l'utilisateur ne dispose d'aucune information de rendement :

- La courbe de rendement est bâtie sur la donnée du rendement par défaut $\eta_{ONDBASE}$.

Elle est définie par deux segments de droite (*inter et extrapolation linéaire*) :

$\eta_{OND}(0) = 0\ \eta_{OND}(0.2) = \eta_{ONDBASE}\ \eta_{OND}(1) = \eta_{ONDBASE}$

Cas n° 2 : l'utilisateur ne dispose que du rendement européen η_{EU}

- La courbe de rendement est bâtie sur la donnée du rendement η_{EU}.

Elle est définie par deux segments de droite (*inter et extrapolation linéaire*) :

$\eta_{OND}(0) = 0\ \eta_{OND}(0.2) = \eta_{EU}\ \eta_{OND}(1) = \eta_{EU}$

Cas n° 3 : l'utilisateur dispose de la courbe de rendement de l'onduleur à la tension nominale (*tension intermédiaire entre la tension min et la tension max de la fenêtre en tension de l'onduleur*)

Elle est définie par la succession des segments de droite suivant (*inter et extrapolation linéaire*) :

$\eta_{OND}(0) = 0\ \eta_{OND}(\text{X}_i) = \eta_i$ avec **à minima** (*points de passage obligés et nombre de points minis*) : Xi= [0.05 ,0.1 ,0.25, 0.50, 0.75, 1] comme demandé par CEI61683.

Définition de la fonction LIM:

LIM, [.] : extinction (*protection*) de l'onduleur si la puissance d'entrée P_{PV} excède de 15 % la puissance nominal de l'onduleur :

LIM = 0 si $P_{PV} > 1.15\ P_{AC\ NOM}$

LIM = 1 sinon.

13. Calcul des indicateurs

13.1 C_CALC_Sorties du mode Th-B

13.1.1 INTRODUCTION

Le mode Th-B vise le calcul des indicateurs de besoin bioclimatique en chauffage, refroidissement et éclairage, sur la base de systèmes forfaitaires simples.

Les données de sorties du mode Th-B sont :

- Les besoins de chauffage, refroidissement et en éclairage, Bch, Bfr et Becl, exprimés en kWh/m².an,
- L'indicateur de besoin bioclimatique Bbio, en points,

Ces éléments sont ramenés à la surface de référence (Shab en usage résidentiel) et (SU surface utile) pour tous les autres usages.

Les données de sorties du mode Th-B sont calculées à trois niveaux :

- Niveau du groupe (ensemble Sortie_Groupe_B), entité de base du calcul thermique et énergétique,
- Niveau de la zone (ensemble Sortie_Zone_B), à partir de la somme des sorties de chaque groupe inclus dans la zone,
- Niveau du bâtiment (ensemble Sortie_Batiment_B), à partir de la somme des sorties de chaque zone inclus dans le bâtiment.

13.1.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 334 donne la nomenclature des différentes variables nécessaires pour effectuer divers calculs au niveau du groupe.

Dans toute la suite de la fiche, on notera *h* le pas de temps de simulation, *j* le jour de simulation et *m* le mois de simulation.

Données d'entrée

		Nom	Description	Unité
		$i_{occ}^{gr}(h)$	Indice d'occupation du groupe gr	0 ou 1
		$Usage^{gr}$	Usage du groupe au sens de la règlementation	Entier
		$SREF^{gr}$	Surface de référence du groupe	m²
		$Categorie\_CE1\_CE2^{gr}$	Catégorie CE1 ou CE2 du groupe	0 ou 1
	Emissions	$Q_{sys\_ch}^{gr}(h)$	Besoin en énergie du groupe pour le poste chauffage aux bornes de l'émetteur conventionnel du mode Th-B	Wh
	Emissions	$Q_{sys\_fr}^{gr}(h)$	Besoin en énergie du groupe pour le poste refroidissement aux bornes de l'émetteur conventionnel du mode Th-B	Wh
	Ecl.	$C_{ECL}^{gr}(h)$	Consommation éclairage du groupe calculée dans les hypothèses du mode Th-B	Wh
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	A_opv^{gr}	Surfaces des parois déperditives opaques verticales du groupe	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	A_ophb^{gr}	Surfaces des parois déperditives opaques horizontales du groupe orientées vers le bas	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	A_ophh^{gr}	Surfaces des parois déperditives opaques horizontales du groupe orientées vers le haut	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	A_op^{gr}	Somme des surfaces des parois opaques du groupe	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	$A\_baies\text{-}v^{gr}$	Surface totale des baies verticales du groupe	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. Baies	$A\_baies\text{-}h^{gr}$	Surface totale des baies horizontales du groupe	m²
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. PT	L_PT^{gr}	Somme des longueurs des ponts thermiques du groupe	m
Assemblage parois, baies, linéaires	Ass. PT	Ψ_l	Coefficient de transmission thermique du pont thermique vertical l	W/m.K
Ventilation spécifi.	Débits d'air	$qv\__{spec,rep}^{g,s}(h)$ $qv\__{spec,sou}^{g,s}(h)$	Débit volumique spécifique repris et soufflé par l'ensemble bouche-conduit conventionnel g,s du groupe gr	m^3/h
Ventilation spécifi.	Débits d'air	$qv\__{def,entr}^{g,s}(h)$ $qv\__{def,sort}^{g,s}(h)$	Débits d'air entrant et sortant dans le groupe gr via les défauts d'étanchéités	m^3/h

$qv\_{EA,entr}^{g,s}(h)$ $qv\_{EAsort}^{g,s}(h)$	Débits d'air entrant et sortant dans le groupe gr via les entrées d'air	m^3/h

Données de sortie

Nom	Description	Unité
Niveau groupe	(Sortie_Groupe_B)	
$[B\_Ch\_mois^{gr}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Fr\_mois^{gr}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Ecl\_moi^{gr}]_{m=1 à 12}$	Besoins en énergie mensuels du groupe pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$B\_Ch\_annuel^{gr}$ $B\_Fr\_annuel^{gr}$ $B\_Ecl\_annuel^{gr}$	Besoins en énergie annuels du groupe pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$[Bbio\_pts\_mois^{gr}]_{m=1 à 12}$	Besoins bioclimatiques Bbio mensuels du groupe	points
$Bbio\_pts\_annuel^{gr}$	Besoin bioclimatique Bbio annuel du groupe	points
Niveau zone	(Sortie_Zone_B)	
$[B\_Ch\_mois^{zn}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Fr\_mois^{zn}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Ecl\_moi^{zn}]_{m=1 à 12}$	Besoins en énergie mensuels de la zone pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$B\_Ch\_annuel^{zn}$ $B\_Fr\_annuel^{zn}$ $B\_Ecl\_annuel^{zn}$	Besoins en énergie annuels de la zone pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$[Bbio\_pts\_mois^{zn}]_{m=1 à 12}$	Besoins bioclimatiques Bbio mensuels de la zone	points
$Bbio\_pts\_annuel^{zn}$	Besoin bioclimatique Bbio annuel de la zone	points
Niveau bâtiment	(Sortie_Batiment_B)	
$[B\_Ch\_mois^{bat}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Fr\_mois^{bat}]_{m=1 à 12}$ $[B\_Ecl\_moi^{bat}]_{m=1 à 12}$	Besoins en énergie mensuels du bâtiment pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$B\_Ch\_annuel^{bat}$ $B\_Fr\_annuel^{bat}$ $B\_Ecl\_annuel^{bat}$	Besoins en énergie annuels du bâtiment pour le poste chauffage, refroidissement et éclairage	kWh/(m².an)
$[Bbio\_pts\_mois^{bat}]_{m=1 à 12}$	Besoins bioclimatiques Bbio mensuels du bâtiment	points
$Bbio\_pts\_annuel^{bat}$	Besoin bioclimatique Bbio annuel du bâtiment	points

Constantes

	Nom	Description	Valeur
Coefficient BBio	*α1*	Constante associée aux besoins de chaud	2
	α2	Constante associée aux besoins de froid	2
	β	Constante associée aux besoins d'éclairage	5

Tableau 334 : Nomenclature du modèle

13.1.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

13.1.3.1 ***Surface de référence du groupe, de la zone et du bâtiment***

La surface de référence d'un groupe pour l'expression des sorties est la surface habitable en usages d'habitation ou la surface utile règlementaire dans le cas contraire :

Si $Usage^{gr} = 1$ ou 2

$$SREF^{gr} = SHAB^{gr} \quad (2430)$$

Sinon

$$SREF^{gr} = SU^{gr} \quad (2431)$$

Pour chaque zone ou bâtiment, la surface de référence est la somme des surfaces de référence des groupes inclus dans cette zone :

$$SREF^{zn} = \sum_{gr \in zn} SREF^{gr} \quad (2432)$$

Pour chaque bâtiment, la surface de référence est la somme des surfaces de référence des zones incluses dans ce bâtiment :

$$SREF^{bat} = \sum_{zn \in bat} SREF^{zn} \quad (2433)$$

13.1.3.2 ***Calcul des besoins en énergie et du Bbio***

Pour chaque groupe, les besoins de chaud, de froid et d'éclairage sont sommés par mois et sur l'ensemble de l'année de simulation. Les résultats finaux s'expriment en kWh par an et par m² de surface de référence.

Les besoins mensuels sont obtenus en sommant sur chaque mois les besoins en énergie au pas de temps horaire :

$$B\_Ch\_mois^{gr} = \frac{\sum_{h \in mois} Q^{gr}_{sys\_ch}(h)}{SREF^{gr}} \quad (2434)$$

$$B\_Fr\_mois^{gr} = \frac{\sum_{h \in mois} Q^{gr}_{sysfr}(h)}{SREF^{gr}} \quad (2435)$$

$$B\_Ecl\_mois^{gr} = \frac{\sum_{h \in mois} C^{gr}_{ECL}(h)}{SREF^{gr}} \quad (2436)$$

Les besoins annuels s'obtiennent par sommation des besoins mensuels :

$$B\_Ch\_annuel^{gr} = \sum_{mois=1}^{12} B\_Ch\_mois^{gr} \quad (2437)$$

$$B\_Fr\_annuel^{gr} = \sum_{mois=1}^{12} B\_Fr\_mois^{gr} \quad (2438)$$

$$B\_Ecl\_annuel^{gr} = \sum_{mois=1}^{12} B\_Ecl\_mois^{gr} \quad (2439)$$

Enfin, le besoin bioclimatique est calculé de la façon suivante :

$$Bbio\_pts\_mois^{gr}_{m} = \alpha_1 . B\_Ch\_annuel^{gr} + \alpha_2 . B\_Fr\_annuel^{gr} + \beta . B\_Ecl\_annuel^{gr} \quad (2440)$$

$$Bbio\_pts\_annuel^{gr} = \sum_{mois=1}^{12} Bbio\_pts\_mois_m^{gr} \quad (2441)$$

Pour chaque zone, les besoins mensuels, annuels et le besoin bioclimatique s'obtiennent par sommation sur l'ensemble des groupes appartenant à la zone.

Pour chaque bâtiment, les besoins mensuels, annuels et le besoin bioclimatique s'obtiennent par sommation sur l'ensemble des groupes appartenant à la zone.

13.1.3.2.1 Surface de catégorie CE1 ou CE2 de chaque zone

La surface des groupes en catégorie CE1 (resp. CE2) de la zone s'exprime de la manière suivante :

Si $Usage^{zn} = 1$ *ou* 2

$$S_{CE1}^{zn} = \sum_{\substack{gr \in zn \\ Categorie\_CE1\_CE2\ ^{gr}=1}} SREF^{gr}$$
$$S_{CE2}^{zn} = \sum_{\substack{gr \in zn \\ Categorie\_CE1\_CE2\ ^{gr}=2}} SREF^{gr} \quad (2442)$$

13.1.3.3 *Calculs des surfaces d'enveloppe cumulées de chaque zone*

Surface totale des parois opaques de la zone :

$$A_{op}^{z} = \sum_{gr} A_{op}^{gr}$$
$$A_{opv\_surf}^{z} = \frac{A_{opv}^{z}}{SREF^{zn}} \quad (2443)$$

Surface totale des parois opaques verticales

$$A_{opv}^{z} = \sum_{gr} A_{opv}^{gr}$$
$$A_{opv\_surf}^{z} = \frac{A_{opv}^{z}}{SREF^{zn}} \quad (2444)$$

Surface totale des planchers hauts :

$$A_{ophh}^{z} = \sum_{gr} A_{ophh}^{gr}$$
$$A_{ophh\_surf}^{z} = \frac{A_{ophh}^{z}}{SREF^{zn}} \quad (2445)$$

Surface totale des planchers bas :

$$A_{ophb}^{z} = \sum_{gr} A_{ophb}^{gr}$$
$$A_{ophb\_surf}^{z} = \frac{A_{ophb}^{z}}{SREF^{zn}} \quad (2446)$$

Surface totale des parois déperditives (baies comprises):

$$A_{T}^{gr} = A_{op}^{gr} + A_{baies-v}^{gr} + A_{baies-h}^{gr}$$
$$A_{T}^{z} = \sum_{gr} A_{T}^{gr}$$
$$A_{T\_surf}^{z} = \frac{A_{T}^{z}}{SREF^{zn}} \quad (2447)$$

Surface totale des parois participant à la perméabilité de l'enveloppe (soit la surface déperditive hors plancher bas) :

$$A_{T,perm}^{gr} = A_{ophh}^{gr} + A_{opv}^{gr} + A_{baies-v}^{gr} + A_{baies-h}^{gr}$$

$$A_{T,perm}^{z} = \sum_{gr} A_{T,perm}^{gr} \quad (2448)$$

$$A_{T,perm\_surf}^{z} = \frac{A_{T,perm}^{z}}{SREF^{zn}}$$

Surface de baie totale de la zone :

$$A\_baies^{zn} = \sum_{gr} A_{baies}^{gr}$$

$$A\_baies\_surf^{zn} = \frac{A_{baies}^{zn}}{SREF^{zn}} \quad (2449)$$

Proportions de baies pour chaque orientation et horizontale :

$$Part\_baies\_sud^{zn} = \frac{\sum_{gr} A_{baies-sud}^{gr}}{A\_baies^{zn}} \quad (2450)$$

$$Part\_baies\_nord^{zn} = \frac{\sum_{gr} A_{baies-sud}^{gr}}{A\_baies^{zn}} \quad (2451)$$

$$Part\_baies\_ouest^{zn} = \frac{\sum_{gr} A_{baies-sud}^{gr}}{A\_baies^{zn}} \quad (2452)$$

$$Part\_baies\_est^{zn} = \frac{\sum_{gr} A_{baies-sud}^{gr}}{A\_baies^{zn}} \quad (2453)$$

Longueur totale de ponts thermiques :

$$L\_PT^{zn} = \sum_{gr} l_{PT}^{gr}$$

$$L\_PT\_surf^{zn} = \frac{L\_PT^{zn}}{SREF^{zn}} \quad (2454)$$

13.1.3.4 *Calcul de la perméabilité à l'air au niveau de la zone et du bâtiment*

$Q_{4Pa\_surf}^{z}$ s'exprime en m³/h/m² de surfaces déperditives de la zone excepté les planchers bas :

$$Q4Pa\_surf^{zn} = \frac{1}{A_{T,perm}^{zn}} \cdot \left(\sum_{gr \in zn} Q_{4Pa\_surf}^{gr} \cdot A_{T,perm}^{gr} \right) \quad (2455)$$

$$Q4Pa\_surf^{bat} = \frac{1}{A_{T,perm}^{bat}} \cdot \left(\sum_{zn \in bat} Q_{4Pa\_surf}^{zn} \cdot A_{T,perm}^{zn} \right) \quad (2456)$$

13.1.3.5 *Calculs des déperditions au niveau de la zone*

Par les planchers hauts et toitures :

$$H_{th\_ophh}^{z} = \sum_{gr} H_{th\_ophh}^{gr} \quad (2457)$$

13.1.3.5.1 Par les murs verticaux :

$$H_{th\_opv}^{z} = \sum_{gr} H_{th\_opv}^{gr} \quad (2458)$$

13.1.3.5.2 Par les baies :

Les déperditions par les baies pouvant varier à chaque pas de temps, on retient comme valeur représentative des déperditions une moyenne sur les mois de janvier et février :

$$Hg^{z}_{es\_hiver} = \underset{m=1\ et\ 2}{moyenne}\left(\sum_{gr} Hg^{gr}_{es\_hiver}(h)\right) \quad (2459)$$

13.1.3.5.3 Par les planchers bas

$$H^{z}_{th\_ophb} = \sum_{gr} H^{gr}_{th\_ophb} \quad (2460)$$

13.1.3.5.4 Par les ponts thermiques

$$H^{z}_{th\_PT} = \sum_{gr} H^{gr}_{th\_PT} \quad (2461)$$

13.1.3.5.5 Par les défauts d'étanchéité en hiver

Pour *IMOIS*≤2

$$H^{z}_{v\_def\_hiver} = \underset{IMOIS\leq 2}{moyenne}\left(H^{z}_{v\_def}(h)\right) \quad (2462)$$

13.1.3.5.6 Par la ventilation spécifique Bbio en hiver

Pour *IMOIS*≤2

$$H^{z}_{vent\_hiver} = \underset{IMOIS\leq 2}{moyenne}\left(\sum_{gr\in z} H^{gr}_{vent}(h)\right) \quad (2463)$$

13.1.3.6 *L'exigence Ratio_psi*

Le ratio de transmission thermique linéique moyen global des ponts thermiques, nommé $Ratio_{psi}$, traduit les déperditions par transmission, à travers tous les ponts thermiques des liaisons. Il s'exprime en Watt par m² de surface de référence $SREF^{bat}$ et par degré Kelvin d'écart de température, conformément aux règles Th-Bat :

$$Ratio_{psi} = \frac{\sum_{gr\in bât} \psi_l * l^{gr}_{PT}}{SREF^{bat}} \quad (2)$$

13.1.3.7 *Calcul des débits moyens entrants et sortants du groupe en occupation*

Les débits moyens (en période d'occupation, sur l'année) entrants et sortants du groupe sont donnés à titre indicatif et sont exprimés en m^3/h.

13.1.3.7.2 Débits moyens en occupation par les défauts d'étanchéité

La moyenne de ces débits, uniquement en période d'occupation ($i_{occzone}$=1), sur l'année donne :

$$\begin{aligned}\overline{Q^{g}_{v,def,entr}} &= moyenne(Q^{g}_{v,def,entr}(\Delta P))\\ \overline{Q^{g}_{v,def,sort}} &= moyenne(Q^{g}_{v,def,sort}(\Delta P))\end{aligned} \quad (2464)$$

13.1.3.7.3 Débits moyens en occupation par les entrées d'air

La moyenne de ces débits, uniquement en période d'occupation ($i_{occzone}$=1), sur l'année donne :

$$\begin{aligned}\overline{Q^{g}_{v,EA,entr}} &= moyenne(Q^{g}_{v,EA,entr}(\Delta P))\\ \overline{Q^{g}_{v,EA,sort}} &= moyenne(Q^{g}_{v,EA,sort}(\Delta P))\end{aligned} \quad (2465)$$

13.1.3.7.4 Débits moyens en occupation spécifiques

Le débit entrant dans le groupe par la ventilation spécifique est le débit soufflé, le débit sortant est égal au débit repris (il est négatif).

Les moyennes sont faites sur les périodes d'occupation ($i_{occzone}$=1)

$$\begin{aligned}\overline{Q^{g}_{v,spec,entr}} &= moyenne\left(\sum_{s} q^{g,s}_{spec\_souffle}\right)\\ \overline{Q^{g}_{v,spec,sort}} &= moyenne\left(\sum_{s} q^{g,s}_{spec\_repris}\right)\end{aligned} \quad (2466)$$

13.2 C_CALC_Sorties du mode Th-C

13.2.1 INTRODUCTION

L'objet de cette fiche est la détermination des indicateurs de performance énergétique conventionnels issus du mode de calcul Th-C. Ces indicateurs sont exprimés par bâtiment.

- **Cep** (kWhep/m²/an) : consommation d'énergie primaire totale comprenant les usages suivants : chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, ventilation, distribution, déplacement des occupants.

- **Cep,nr** (kWhep/m²/an) : consommation d'énergie primaire non-renouvelable et hors récupération comprenant les usages suivants : chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, ventilation, distribution, déplacement des occupants,

13.2.2 NOMENCLATURE

Par convention de notation dans toute la suite de la fiche :

- h représente le pas de temps horaire de simulation, m les mois de l'année,
- [poste] représente la liste des indices de poste de consommations : ch, fr, ecs, ecl, auxvent, auxdist, déplacement, mobilier
- [energie] représente la liste des indices de vecteurs énergétiques : gaz, fioul, bois, elec et reseau.

Le Tableau 335 donne la nomenclature des différentes variables de la fiche. Les sorties de la fiche représentent les sorties du moteur de calcul pour le calcul énergétique.

Entrées		
Nom	Description	Unité
$Q_{req-ch}^{gr}(h)$ $Q_{req-fr}^{gr}(h)$	Besoins en énergie de chauffage et refroidissement aux bornes des émetteurs des groupes	Wh
$Q_{w\_bruts}^{gr}(h)$	Besoins en ECS totaux bruts du groupe	Wh
$Q_{cef[poste;energie]}^{gr}(h)$ $Q_{cef[poste;energie]}^{zn}(h)$ $Q_{cef[poste;energie]}^{bat}(h)$	Matrice des consommations d'énergie horaires par poste (chauffage, refroidissement et ECS) et par type d'énergie (gaz, fioul, bois, électricité, réseau) pour le groupe gr / la zone zn / le bâtiment bat	Wh
$W_{elec-cons[poste]}^{gr}(h)$ $W_{elec-cons[poste]}^{zn}(h)$ $W_{elec-cons[poste]}^{bat}(h)$	Vecteur des consommations horaires en énergie électrique pour les postes chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, auxiliaires de distribution, auxiliaires de ventilation, déplacement des occupants et usages mobiliers du groupe gr / de la zone zn / du bâtiment bat	Wh
$W_{elec-imp[poste]}^{zn}(h)$ $W_{elec-imp[poste]}^{bat}(h)$	Vecteur des quantités d'énergie importées par poste de la zone zn / du bâtiment bat	Wh
$Cef_{tot\_comb}^{cogé,bat}$	Consommation d'énergie finale des cogénérations du bâtiment objet de l'étude pour la satisfactions des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire	Wh
$E_{elec-prod-coge}^{zn}(h)$ $E_{elec-prod-coge}^{bat}(h)$	Production totale d'électricité par les cogénérateurs attribuée au groupe gr/ à la zone zn / au bâtiment bat	Wh
$E_{elec-prod-PV}^{zn}(h)$ $E_{elec-prod-PV}^{bat}(h)$	Production totale d'électricité par les installations photovoltaïque attribuées à la zone zn / au bâtiment bat	Wh
$E_{elec-prod-tot}^{bat}(h)$	Production totale d'électricité du bâtiment bat	Wh
$E_{elec\_prod\_AC}^{bat}(h)$	Production totale d'électricité autoconsommée par le bâtiment bat	Wh
$E_{elec-prod-PV-AC}^{bat}(h)$ $E_{elec-prod-coge-AC}^{bat}(h)$	Production d'électricité par les installations photovoltaïques / par les cogénérateurs et autoconsommée par le bâtiment bat	Wh
$W_{elec-IMP[poste]}^{bat}(h)$ $W_{elec-IMP[poste]}^{zn}(h)$	Vecteur des quantités d'énergie électriques importées par poste par le bâtiment bat / la zone zn	Wh

$W^{bat}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h)$ $W^{zn}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h)$	Quantités d'énergie électriques importées tous postes confondus pour le bâtiment bat / la zone zn	Wh
O_Type_Reseau[bat] O_RatENR_rdch[bat] O_RatENR_rdfr[bat]	Type de réseau urbain connecté au bâtiment, et ratios d'énergie renouvelables de ce réseau pour le chauffage et/ou pour le refroidissement	
$Type\_Combustible\_Bois^{gnr}$	Type de combustible bois associé au générateur gnr : - *Bûche,* - *Plaquette,* - *Granulés*	Liste
$Is\_Generateur\_Poele^{gnr}$	Booléen indiquant si le générateur gnr est un poêle ou insert à bois	Bool
$Q^{gnr}_{cef[poste\,;energie]}(h)$	Matrice des consommations d'énergie horaires par poste (chauffage, refroidissement et ECS) et par type d'énergie (gaz, fioul, bois, électricité, réseau) pour le générateur gnr	Wh

Sorties

Nom	Description	Unité
Niveau "Batiment"		
SREF[bat]	Surface de référence du bâtiment	m²
O_Cef_annuel	Consommation annuelle totale en énergie finale du bâtiment basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
O_Cep_annuel	Consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.an^{-1}
O_Cep_annuel_occ	Consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment ramenée au nombre d'occupant (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.occ^{-1}
O_Cep_nr_annuel	Consommation annuelle totale en énergie primaire non-renouvelable du bâtiment basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.an^{-1}
O_Type_Reseau O_RatENR_rdch O_RatENR_rdfr	Type de réseau urbain connecté au bâtiment, et ratios d'énergie renouvelables de ce réseau pour le chauffage et/ou pour le refroidissement	Menu 0-1 0-1
O_Cef_imp_[poste]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par poste de consommation du bâtiment	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
O_Eef_Prod_PV_annuel O_Eef_Prod_Coge_annuel	Productions annuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération attribuées au bâtiment	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
O_TAC_elec_annuel O_TAC_elec_PV_annuel O_TAC_elec_Coge_annuel	Taux d'autoconsommation annuels du bâtiment par rapport à la production totale d'électricité / à la production par les installations photovoltaïques / à la production par les modules de cogénération (comprise entre 0 et 100)	%
O_TAC_Coge_global_annuel	Taux d'autoconsommation annuel du bâtiment par rapport à la production totale de chaleur et d'électricité des modules de cogénération (compris entre 0 et 100)	%

Indicateurs Annuels

	O_Eef_Elec_Exportee_annuel	Quantité finale d'énergie électrique exportée par le bâtiment	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_imp_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie du bâtiment	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie et par poste du bâtiment	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_mois	Quantités d'énergie finale mensuelles importées par type d'énergie et par poste pour le bâtiment	kWhef.m^{-2}
Indicateurs mensuels	O_Eef_Prod_PV_mois O_Eef_Prod_Coge_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération attribuées au bâtiment	kWhef.m^{-2}
	O_Eef_Prod_PV_AC_mois O_Eef_Prod_Coge_AC_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération autoconsommées au niveau du bâtiment	kWhef.m^{-2}
	O_Eef_Elec_Exportee_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité exportée par le bâtiment	kWhef.m^{-2}
Besoins	O_B_Ch_annuel O_B_Fr_annuel O_B_Ecs_annuel	Besoins annuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs du bâtiment	kWh.m^{-2}.an^{-1}
	O_B_Ch_mois O_B_Fr_mois O_B_Ecs_mois	Besoins mensuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs du bâtiment	kWh.m^{-2}
Niveau « Zone »			
	SREF^{zn} SHAB^{zn} SU^{zn}	Surface de référence, SHAB et SU de la zone	m²
	Usage	Usage de la zone	Menu
	O_Cef_annuel	Consommation annuelle totale en énergie finale de la zone basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cep_annuel	Consommation annuelle totale en énergie primaire de la zone basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cep_annuel_occ	Consommation annuelle totale en énergie primaire de la zone ramenée au nombre d'occupant (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.occ^{-1}
	O_Cep_nr_annuel	Consommation annuelle totale en énergie primaire non-renouvelable de la zone basée sur la somme des quantités d'énergie importées (hors usages mobiliers)	kWhep.m^{-2}.an^{-1}
Indicateurs annuels	O_Cef_imp_[poste]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par poste de consommation de la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_[energie]_imp_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie de la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie et par poste de la zone	kWhef.m^{-2}

	O_Cef_imp_ch_boisbuchpoel_annuel O_Cef_imp_ecs_boisbuchpoel_annuel		
	O_Cef_imp_ch_boisplaqpoel_annuel O_Cef_imp_ecs_boisplaqpoel_annuel O_Cef_imp_ch_boisgranpoel_annuel O_Cef_imp_ecs_boisgranpoel_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées, sous-décomposées par type de combustible bois et par poste, pour les générateurs bois de type poêle ou insert et connectés à la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Cef_imp_ch_boisbuchchaud_annuel O_Cef_imp_ecs_boisbuchchaud_annuel		
	O_Cef_imp_ch_boisplaqchaud_annuel O_Cef_imp_ecs_boisplaqchaud_annuel O_Cef_imp_ch_boisgranchaud_annuel O_Cef_imp_ecs_boisgranchaud_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées, sous-décomposées par type de combustible bois et par poste, pour les générateurs bois de type chaudières connectés à la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_Eef_Prod_PV_annuel O_Eef_Prod_Coge_annuel	Productions annuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération attribuées à la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
	O_TAC_elec_annuel O_TAC_elec_PV_annuel O_TAC_elec_Coge_annuel	Taux d'autoconsommation annuels de la zone par rapport à la production totale d'électricité / à la production par les installations photovoltaïques / à la production par les modules de cogénération (comprise entre 0 et 100)	%
	O_Eef_Elec_Exportee_annuel	Quantité finale d'énergie électrique exportée par la zone	kWhef.m^{-2}.an^{-1}
Indicateurs mensuels	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_mois	Quantités d'énergie finale mensuelles importées par type d'énergie et par poste de la zone	kWhef.m^{-2}
	O_Eef_Prod_PV_mois O_Eef_Prod_Coge_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération attribuées à la zone	kWhef.m^{-2}
	O_Eef_Prod_PV_AC_mois O_Eef_Prod_Coge_AC_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité des installations photovoltaïques/par les modules de cogénération autoconsommées au niveau de la zone	kWhef.m^{-2}
	O_Eef_Elec_Exportee_mois	Productions mensuelles en énergie finale d'électricité exportée par la zone	kWhef.m^{-2}
Besoins	O_B_Ch_annuel O_B_Fr_annuel O_B_Ecs_annuel	Besoins annuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs de la zone	kWh.m^{-2}.an^{-1}
	O_B_Ch_mois O_B_Fr_mois O_B_Ecs_mois	Besoins mensuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs de la zone	kWh.m^{-2}

Niveau « Groupe »

	$SREF^{gr}$ $SHAB^{gr}$ SU^{gr}	Surface de référence, SHAB et SU du groupe	m²
Indicateurs annuels	O_Cef_annuel	Consommation annuelle totale en énergie finale du groupe (hors usages mobiliers et déplacement)	$kWhef.m^{-2}.an^{-1}$
	O_Cep_annuel	Consommation annuelle totale en énergie primaire du groupe (hors usages mobiliers et déplacement)	$kWhep.m^{-2}.an^{-1}$
	O_Cef_[poste]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles consommées par poste du groupe	$kWhef.m^{-2}.an^{-1}$
	O_Cef_[poste]_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles consommées par type d'énergie et par poste du groupe	$kWhef.m^{-2}.an^{-1}$
	O_Cef_[energie] _annuel	Quantités d'énergie finale annuelles consommées par type d'énergie du groupe	$kWhef.m^{-2}.an^{-1}$
Indicateurs mensuels	O_Cef_[poste]_mois	Quantités d'énergie finale mensuelles consommées par poste du groupe	$kWhef.m^{-2}.an^{-1}$
Besoins	O_B_Ch_annuel O_B_Fr_annuel O_B_Ecs_annuel	Besoins annuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs de la zone	$kWh.m^{-2}.an^{-1}$
	O_B_Ch_mois O_B_Fr_mois O_B_Ecs_mois	Besoins mensuels en énergie de chauffage, refroidissement et eau chaude sanitaire aux bornes des émetteurs de la zone	$kWh.m^{-2}$

Constantes

Nom	Description	Unité
$CoefEP_{[energie]}$	Coefficients de conversion en énergie primaire totale correspondant aux différents types d'énergie	Réel
$CoefEPnr_{[energie]}$	Coefficients de conversion en énergie primaire non-renouvelable correspondant aux différents types d'énergie	Réel

Tableau 335 : Nomenclature du modèle

13.2.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

Les calculs décrits par la présente fiche consistent à sommer ou cumuler les données de sortie du calcul mené au pas de temps horaire.

13.2.3.1 *Valeur des coefficients de conversions en énergie primaire*

Type d'énergie	CoefEP	CoefEPnr
Bois	1	0
Electricité	2,3	2,3
Réseau urbain (chauffage)	1	1 - RatENR_rdchbat
Réseau urbain (froid)	1	1
Energies fossiles	1	1

Tableau 336 : coefficients de conversion de l'énergie finale en énergie primaire pour les différents types d'énergie

Pour les réseaux de chaleur urbains, la valeur du coefficient **CoefEPnr** est fonction du ratio d'énergie renouvelable du réseau (distingué pour le chauffage/ECS et pour le refroidissement), défini au niveau du bâtiment. Ce ratio est défini conformément à l'article 9 du présent arrêté.

13.2.3.2 *Surface de référence du groupe, de la zone et du bâtiment*

La surface de référence d'un groupe pour l'expression des sorties est la surface habitable en usages d'habitation ou la surface utile règlementaire dans le cas contraire :

Si Usage^{gr} = 1 ou 2

$$SREF^{gr} = SHAB^{gr} \quad (2467)$$

Sinon

$$SREF^{gr} = SU^{gr} \quad (2468)$$

Pour chaque zone ou bâtiment, la surface de référence est la somme des surfaces de référence des groupes inclus dans cette zone :

$$SREF^{zn} = \sum_{gr \in zn} SREF^{gr} \quad (2469)$$

Pour chaque bâtiment, la surface de référence est la somme des surfaces de référence des zones incluses dans ce bâtiment :

$$SREF^{bat} = \sum_{zn \in bat} SREF^{zn} \quad (2470)$$

13.2.3.3 *Calcul des indicateurs au niveau Groupe (Sorties_Groupe)*

Au niveau groupe, les auxiliaires de déplacement et les consommations associées au usages mobiliers ne sont pas définies.

13.2.3.3.1 Résultats mensuels

Consommations par poste :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS :

$$O\_Cef\_[poste]\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[\sum_{energie}\left(Q^{gr}_{cef[poste;energie]}(h)\right)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2471)$$

- pour les autres postes du groupe (ne consommant que de l'électricité), éclairage, auxiliaires de ventilation et auxiliaires de distribution :

$$O\_Cef\_[poste]\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[W^{gr}_{elec-cons[poste]}(h)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2472)$$

Besoins en énergie :

$$O\_B\_Ch\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[Q^{gr}_{req-ch}(h)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2473)$$

$$O\_B\_Fr\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[Q^{gr}_{req-fr}(h)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2474)$$

$$O\_B\_Ecs\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[Q^{gr}_{w,brut}(h)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2475)$$

13.2.3.3.2 Résultats annuels

Consommations poste et par énergie :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS :

$$O\_Cef\_[poste]\_[energie]\_annuel = \frac{\sum_{h}\left(Q^{gr}_{cef[poste\,;energie]}(h)\right)}{SREF^{gr}} \quad (2476)$$

- pour les autres postes du groupe (purement électrique), éclairage, auxiliaires de ventilation et auxiliaires de distribution :

$$O\_Cef\_[poste]\_elec\_annuel = \frac{\sum_{h}\left[W^{gr}_{elec-cons[poste]}(h)\right]}{SREF^{gr}} \quad (2477)$$

Consommations par poste :

$$O\_Cef\_[poste]\_annuel = \sum_{mois}[O\_Cef\_[poste]\_mois] \quad (2478)$$

Consommations par énergie :

$$O\_Cef\_[energie]\_annuel = \sum_{poste}[O\_Cef\_[poste]\_[energie]\_annuel] \quad (2479)$$

Coefficient Cef et Cep :

$$O\_Cef\_annuel = \sum_{energie} O\_Cef\_[energie]\_annuel \quad (2480)$$

$$O\_Cep\_annuel = \sum_{energie}[O\_Cef\_[energie]\_annuel \times CoefEP[energie]] \quad (2481)$$

Besoins en énergie :

$$O\_B\_Ch\_annuel = \sum_{mois}[O\_B\_Ch\_mois] \quad (2482)$$

$$O\_B\_Fr\_annuel = \sum_{mois}[O\_B\_Fr\_mois] \quad (2483)$$

$$O\_B\_Ecs\_annuel = \sum_{mois}[O\_B\_Ecs\_mois] \quad (2484)$$

13.2.3.4 *Calcul des indicateurs au niveau Zone (Sorties_Zone)*

Pour le niveau Zone, les résultats sont formulés en quantités d'énergie importées, pour l'ensemble des postes de consommation : chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, auxiliaires de ventilation, auxiliaires de distribution, déplacement des occupants et usages mobiliers.

Pour l'électricité, on calcule également les quantités d'énergie consommées (incluant la part importée et la part autoproduite), afin de faciliter l'analyse du bilan des imports et exports.

Note : pour les postes éclairage et auxiliaires de ventilation, les quantités d'énergie importées du niveau Zone sont égales à la somme de celles des groupes constituant la zone, plus celles des parkings attribuées à la zone.

13.2.3.4.1 Résultats mensuels

Quantités d'énergie finale importées et consommées par poste :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS, hors électricité :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[Q^{zn}_{cef[poste\,;\,energie]}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2485)$$

- pour tous les postes, sur l'électricité:

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[W^{zn}_{elec-imp[poste]}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2486)$$

$$O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[W^{zn}_{elec-cons[poste]}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2487)$$

Production d'électricité locale totale et autoconsommée par type de producteur :

$$O\_Eef\_prod\_PV\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[E^{zn}_{elec-prod-PV}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2488)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[E^{zn}_{elec-prod-coge}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2489)$$

$$O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[E^{zn}_{elec-prod-PV-AC}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2490)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}\left[E^{zn}_{elec-prod-coge-AC}(h)\right]}{SREF^{zn}} \quad (2491)$$

$$\begin{aligned} O\_Eef\_Elec\_Exportee\_mois \\ = O\_Eef\_prod\_PV\_mois + O\_Eef\_prod\_coge\_mois \\ - O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_mois - O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois \end{aligned} \quad (2492)$$

Besoins en énergie :

$$O\_B\_Ch\_mois = \frac{\sum_{gr \in zone}\left[O\_B\_Ch\_mois^{gr} \times SREF^{gr}\right]}{SREF^{zn}} \quad (2493)$$

$$O\_B\_Fr\_mois = \frac{\sum_{gr \in zone}\left[O\_B\_Fr\_mois^{gr} \times SREF^{gr}\right]}{SREF^{zn}} \quad (2494)$$

$$O\_B\_Ecs\_mois = \frac{\sum_{gr \in zone}[O\_B\_Ecs\_mois^{gr} \times SREF^{gr}]}{SREF^{zn}} \quad (2495)$$

13.2.3.4.2 Résultats annuels

Quantités d'énergie finale importées et consommées par poste :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS, hors électricité :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] \quad (2496)$$

- pour tous les postes, sur l'électricité:

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_mois] \quad (2497)$$

$$O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_mois] \quad (2498)$$

Quantités d'énergie finale importées sous-décomposées pour l'application des impacts environnementaux des générateurs au bois :

Pour l'ensemble des générateurs au bois connectés à la zone (via les distributions et générations), les quantités d'énergie importées sont sous-décomposées selon la nature du générateur (poêle-insert ou autre), le type de combustible (bûche, granulés ou plaquettes) et le poste (chauffage ou ECS). Par exemple :

Soit l'ensemble des générateurs d'indice gnr connectés à la zone, tels que $Is\_Generateur\_Poele^{gnr} = vrai$ et $Type\_Combustible\_Bois^{gnr} = Bûche$:

$$O\_Cef\_imp\_\text{ch\_boisbuchpoel}\_annuel = \sum_{gnr \to zn} Q^{gnr}_{cef[ch\,;\,energie]}(h) \quad (2499)$$

$$O\_Cef\_imp\_\text{ecs\_boisbuchpoel}\_annuel = \sum_{gnr \to zn} Q^{gnr}_{cef[cecs\,;\,energie]}(h)$$

On détermine ainsi l'ensemble dans quantités d'énergie finale importées pour chacune des configurations.

Quantités d'énergie finale importées par poste :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_annuel = \sum_{mois} \left[\sum_{energie} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] \right] \quad (2500)$$

Quantités d'énergie finale importées par énergie:

Les quantités d'énergie finales importées par type d'énergie n'intègre pas le poste usages mobiliers :

$$O\_Cef\_[energie]\_annuel = \sum_{mois} \left[\sum_{poste\ hors\ mobilier} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] \right] \quad (2501)$$

Production d'électricité locale totale et autoconsommée par type de producteur :

$$O\_Eef\_prod\_PV\_annuel = \sum_{mois} [O\_Eef\_prod\_PV\_mois] \quad (2502)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_annuel = \sum_{mois} [O\_Eef\_prod\_coge\_mois] \quad (2503)$$

$$O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel = \sum_{mois} [O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_mois] \quad (2504)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel = \sum_{mois} [O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois] \quad (2505)$$

$$O\_Eef\_Elec\_Exportee\_annuel = \sum_{mois} [O\_Eef\_Elec\_Exportee\_mois] \quad (2506)$$

Taux d'autoconsommation de la production électrique par type de producteur :

$$\text{O\_TAC\_elec\_annuel} = 100 \times \left(\frac{O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel + O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_PV\_annuel + O\_Eef\_prod\_coge\_annuel}\right) \quad (2507)$$

$$\text{O\_TAC\_elec\_PV\_annuel} = 100 \times \frac{O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_PV\_annuel} \quad (2508)$$

$$\text{O\_TAC\_elec\_coge\_annuel} = 100 \times \frac{O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_coge\_annuel} \quad (2509)$$

Taux d'autoconsommation global (chaleur et électricité) des installations de cogénération :

$$\text{O\_TAC\_coge\_global\_annuel} = 100 \times \frac{Cef_{tot\_comb}^{cogé,bat} + O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel}{Cef_{tot\_comb}^{cogé,bat} + O\_Eef\_prod\_coge\_annuel} \quad (2510)$$

Coefficient Cef, Cep et Cep,nr :

$$O\_Cef\_annuel = \sum_{energie} O\_Cef\_[energie]\_annuel \quad (2511)$$

$$O\_Cep\_annuel = \sum_{energie} [O\_Cef\_[energie]\_annuel \times CoefEP[energie]] \quad (2512)$$

$$O\_Cepnr\_annuel = \sum_{energie} [O\_Cef\_[energie]\_annuel \times CoefEPnr[energie]] \quad (2513)$$

Besoins en énergie :

$$\text{O\_B\_Ch\_annuel} = \sum_{mois} [\text{O\_B\_Ch\_mois}] \quad (2514)$$

$$\text{O\_B\_Fr\_annuel} = \sum_{mois} [\text{O\_B\_Fr\_mois}] \quad (2515)$$

$$\text{O\_B\_Ecs\_annuel} = \sum_{mois} [\text{O\_B\_Ecs\_mois}] \quad (2516)$$

13.2.3.5 *Calcul des indicateurs au niveau Batiment (Sorties_Batiment)*

Pour le niveau bâtiment, les résultats sont formulés en quantités d'énergie importées. Pour le type d'énergie électrique, on calcule également les quantités d'énergie consommées (incluant la part importée et la part autoproduite).

13.2.3.5.1 Résultats mensuels

Quantités d'énergie finale importées et consommées par poste :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS, hors électricité :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[Q_{cef[poste;energie]}^{bat}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2517)$$

- pour tous les postes, sur l'électricité:

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[W^{bat}_{elec-imp[poste]}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2518)$$

$$O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[W^{bat}_{elec-cons[poste]}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2519)$$

Production d'électricité locale totale et autoconsommée par type de producteur :

$$O\_Eef\_prod\_PV\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[E^{bat}_{elec-prod-PV}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2520)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[E^{bat}_{elec-prod-coge}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2521)$$

$$O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[E^{bat}_{elec-prod-PV-AC}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2522)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois = \frac{\sum_{h \in mois}[E^{bat}_{elec-prod-coge-AC}(h)]}{SREF^{bat}} \quad (2523)$$

$$O\_Eef\_Elec\_Exportee\_mois = O\_Eef\_prod\_PV\_mois + O\_Eef\_prod\_coge\_mois - O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_mois - O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois \quad (2524)$$

Besoins en énergie :

$$O\_B\_Ch\_mois = \frac{\sum_{zn \in bat}[O\_B\_Ch\_mois^{zn} \times SREF^{zn}]}{SREF^{bat}} \quad (2525)$$

$$O\_B\_Fr\_mois = \frac{\sum_{zn \in bat}[O\_B\_Fr\_mois^{zn} \times SREF^{zn}]}{SREF^{bat}} \quad (2526)$$

$$O\_B\_Ecs\_mois = \frac{\sum_{zn \in bat}[O\_B\_Ecs\_mois^{zn} \times SREF^{zn}]}{SREF^{bat}} \quad (2527)$$

13.2.3.5.2 Résultats annuels

Quantités d'énergie finale importées et consommées par poste :

- pour les postes chauffage, refroidissement et ECS, hors électricité :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_annuel = \sum_{mois}[O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] \quad (2528)$$

- pour tous les postes, sur l'électricité:

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_annuel = \sum_{mois}[O\_Cef\_imp\_[poste]\_elec\_mois] \quad (2529)$$

$$O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_annuel = \sum_{mois}[O\_Cef\_cons\_[poste]\_elec\_mois] \quad (2530)$$

Quantités d'énergie finale importées sous-décomposées pour l'application des impacts environnementaux des générateurs au bois :

Pour l'ensemble des générateurs au bois connectés au bâtiment (via les distributions et générations), les quantités d'énergie importées sont sous-décomposées selon la nature du générateur (poêle-insert ou autre), le type de combustible (bûche, granulés ou plaquettes)

et le poste (chauffage ou ECS). Par exemple :

Soit l'ensemble des générateurs d'indice gnr connectés à la zone, tels que $Is\_Generateur\_Poele^{gnr} = vrai$ et $Type\_Combustible\_Bois^{gnr} = Bûche$:

$$O\_Cef\_imp\_\text{ch\_boisbuchpoel}\_annuel = \sum_{gnr \to zn} Q^{gnr}_{cef[ch\,;\,energie]}(h) \quad (2531)$$

$$O\_Cef\_imp\_\text{ecs\_boisbuchpoel}\_annuel = \sum_{gnr \to zn} Q^{gnr}_{cef[cecs\,;\,energie]}(h)$$

On détermine ainsi l'ensemble dans quantités d'énergie finale importées pour chacune des configurations.

Quantités d'énergie finale importées par poste :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_annuel = \sum_{mois}\left[\sum_{energie}[O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois]\right] \quad (2532)$$

Quantités d'énergie finale importées par énergie:

$$O\_Cef\_[energie]\_annuel = \sum_{mois}\left[\sum_{poste\ hors\ mobilier}[O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois]\right] \quad (2533)$$

Production d'électricité locale totale et autoconsommée par type de producteur :

$$O\_Eef\_prod\_PV\_annuel = \sum_{mois}[O\_Eef\_prod\_PV\_mois] \quad (2534)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_annuel = \sum_{mois}[O\_Eef\_prod\_coge\_mois] \quad (2535)$$

$$O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel = \sum_{mois}[O\_Eef\_prod\_PV\_\text{AC}\_mois] \quad (2536)$$

$$O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel = \sum_{mois}[O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_mois] \quad (2537)$$

$$O\_Eef\_Elec\_Exportee\_annuel = \sum_{mois}[O\_Eef\_Elec\_Exportee\_mois] \quad (2538)$$

Taux d'autoconsommation de la production par type de producteur :

$$\text{O\_TAC\_elec\_annuel} = 100 \times \left(\frac{O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel + O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_PV\_annuel + O\_Eef\_prod\_coge\_annuel}\right) \quad (2539)$$

$$\text{O\_TAC\_elec\_PV\_annuel} = 100 \times \frac{O\_Eef\_prod\_PV\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_PV\_annuel} \quad (2540)$$

$$\text{O\_TAC\_elec\_coge\_annuel} = 100 \times \frac{O\_Eef\_prod\_coge\_AC\_annuel}{O\_Eef\_prod\_coge\_annuel} \quad (2541)$$

Coefficient Cef, Cep et Cep,nr :

$$O\_Cef\_annuel = \sum_{energie} O\_Cef\_[energie]\_annuel \quad (2542)$$

$$O\_Cep\_annuel = \sum_{energie}[O\_Cef\_[energie]\_annuel \times CoefEP[energie]] \quad (2543)$$

$$O\_Cepnr\_annuel = \sum_{energie}[O\_Cef\_[energie]\_annuel \times CoefEPnr[energie]] \quad (2544)$$

Besoins en énergie :

$$\text{O\_B\_Ch\_annuel} = \sum_{mois}[\text{O\_B\_Ch\_mois}] \quad (2545)$$

$$O\_B\_Fr\_annuel = \sum_{mois} [O\_B\_Fr\_mois] \quad (2546)$$

$$O\_B\_Ecs\_annuel = \sum_{mois} [O\_B\_Ecs\_mois] \quad (2547)$$

13.3 C_Sn_Methode_Th_C_Forfait de consommations de refroidissement

13.3.1 INTRODUCTION

Ce document a pour but de décrire les modalités de prise en compte d'un forfait de consommation de refroidissement en cas d'inconfort d'été ponctuel dans le calcul énergie.

Rappel du contexte :

Il est mis en place deux seuils d'inconfort, basés sur un indicateur Degrés-Heures (ou DH en °C.h) calculé au niveau groupe, avec les règles suivantes :

- DH > Seuil haut : bâtiment non-règlementaire, inconfort excessif,
- DH < Seuil bas : bâtiment jugé suffisamment confortable,
- Seuil bas < DH < Seuil haut : le critère confort est respecté, mais de l'inconfort ponctuel peut apparaître. Le calcul des consommations Th-C est fait en introduisant un forfait de consommation de refroidissement en conséquence. Ce forfait de consommation de refroidissement est calculé conventionnellement sur la base du nombre de degrés-heures d'inconfort du groupe. Il est ensuite ajouté aux consommation de refroidissement et d'électricité du groupe, de la zone correspondante et du bâtiment correspondant.

La méthode de prise en compte d'un forfait de consommation de refroidissement est la suivante :

Il est nécessaire de remplir plusieurs conditions pour activer la procédure de prise en compte de ce forfait.

Ces conditions sont les suivantes :

- Le calcul Th-C est présent dans le mode de calcul choisi par l'utilisateur (c'est-à-dire s'il choisit les modes de calculs Th-C ou Th-DBC),
- Au moins un des groupes du bâtiment est non climatisé

Si les conditions ci-dessus sont vérifiées, la procédure de mise en place du forfait de consommations de refroidissement est lancée. Celle-ci est la suivante :

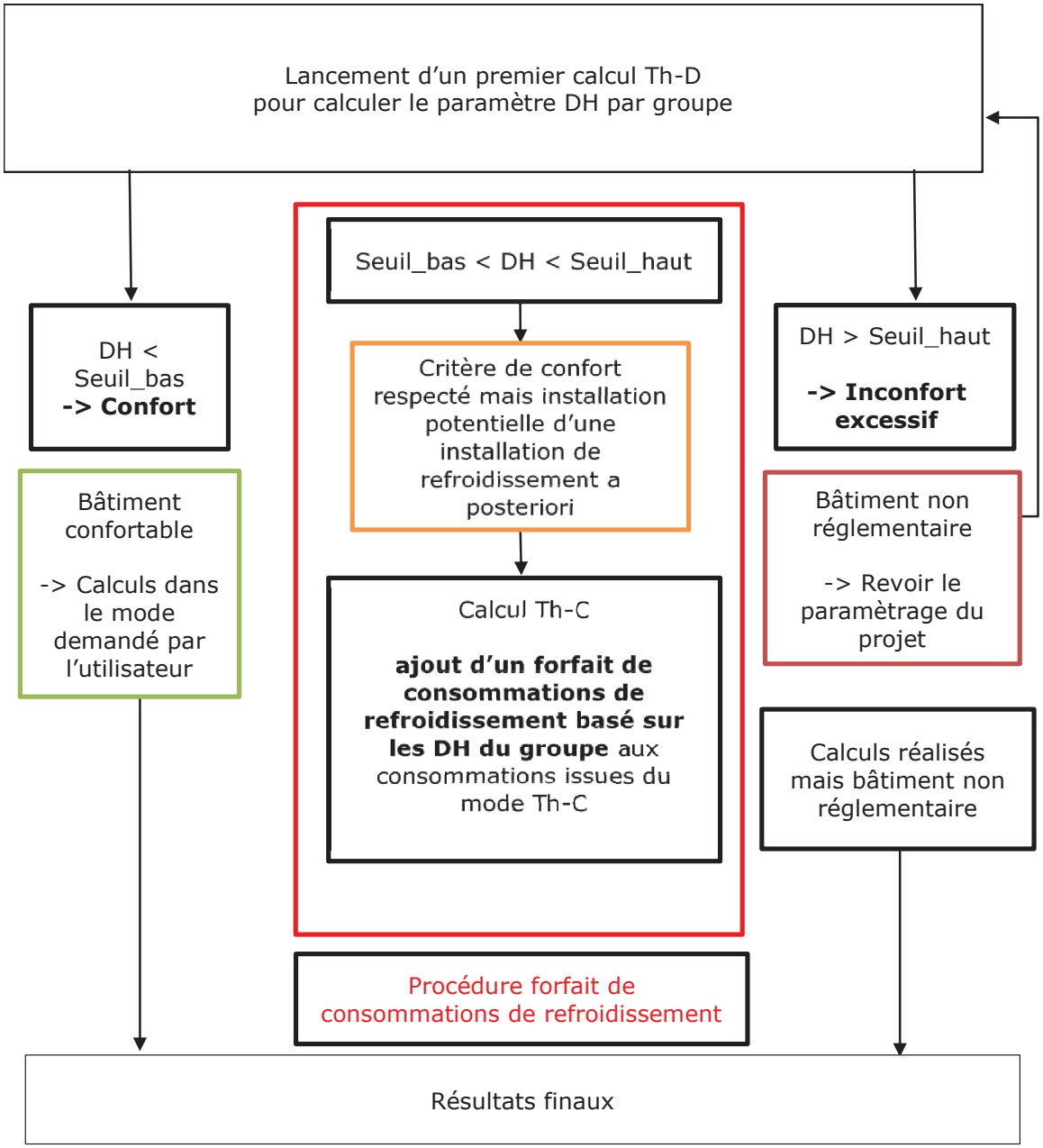


Figure 214 – schéma de principe de la procédure de prise en compte d'un forfait de consommation le refroidissement selon le niveau d'inconfort d'été du bâtiment

Cette présente fiche indique les modalités de calcul du forfait de consommation de refroidissement.

13.3.2 NOMENCLATURE DU MODELE

Le Tableau suivant donne la nomenclature des différentes variables du modèle.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Confort d'été	DH_g	Degrés-heures d'inconfort issus du mode Th-D pour le groupe g	°C.h	0	+∞	
Sorties mode Th-C	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie et par poste, au niveau bâtiment, zone ou groupe	kWhef. m^{-2}.an^{-1}	0	-	-
	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_mois	Quantités d'énergie finale mensuelles importées par type d'énergie et par poste pour le bâtiment	kWhef. m^{-2}			
	$SREF^{gr}$	Surface de référence du groupe	m²			
	$SREF^{zn}$	Surface de référence de la zone	m²			
	$SREF^{bat}$	Surface de référence du bâtiment	m²			

Paramètres intrinsèques du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv

Paramètres d'intégration

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
	$Usage_{z,g}$	Type d'usage de la zone z contenant le groupe g	-			
	Groupe_is_climatisé	Indicateur vérifiant si le groupe n°g est climatisé ou non : *0 : Non* *1 : Oui*	-			
Simu	Mode	Mode de calcul en cours (0-Th-B / 4-Th-D / 5-Th-DBC)	-	0	5	
	Alt	Altitude du projet 0 m à 400 m | 400 m à 800 m ou 800 m et plus	m	0	*800*	-
	département	Numéro du département (Zone climatique)		1	*95*	-

Variables internes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv

	Coef_kWh_fr_par_DH	coefficient de consommation de refroidissement par DH d'inconfort, pour le forfait de consommations de refroidissement, par type d'usage de la zone contenant le groupe	kWhep /m²/an/ (°C.h)	0.09	0.016	-
	Coef_zone_clim_et_alt	coefficient de modulation des consommations de refroidissement pour le forfait de consommations de refroidissement en fonction de la zone climatique et de l'altitude	Réel	0.3	1.2	-
	Cef_fr_elec_refroidissement,g	Valeur du forfait de consommations de refroidissement pour le groupe en cours (groupe g)	kWhef/ m²/an/(°C.h)	0	97.2	-
	Seuil haut	Seuil haut de degrés-heures d'inconfort	°C.h	0	+∞	-

Sorties

	Nom	Description	Unité			
Sorties mode Th-C	O_Cef_imp_[poste]_[energie]_annuel	Quantités d'énergie finale annuelles importées par type d'énergie et par poste, au niveau bâtiment, zone ou groupe	kWhef. $m^{-2}.an^{-1}$	0	-	-

Constantes

	Nom	Description	Unité			Conv.
	Seuil bas	Seuil bas de degrés-heures d'inconfort	°C.h			350
	CoefEP[électricité]	Coefficient de conversion en énergie primaire totale pour l'électricité du réseau	Réel			2.3

Tableau 337 : Nomenclature des différentes variables du modèle

13.3.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

On regarde tous les groupes g de la zone z du bâtiment b.

La prise en compte du forfait de refroidissement n'est activée que lorsque les degrés-heures (DH) du groupe sont supérieurs au seuil bas.
Si le groupe est déjà climatisé (Groupe_is_climatisé = 1): aucun forfait de consommation de refroidissement n'est ajouté à la consommation de refroidissement du groupe déjà existante (Cef_Fr_élec_refroidissement,g=0). La climatisation présente assure le confort.

Si le groupe n'est pas climatisé (Groupe_is_climatisé = 0)**:**

13.3.3.1 ***Calcul du forfait de consommation de refroidissement du groupe g***

$$Cef_{fr\ elec\ refroidissement,g} = \frac{Coef_{kWh\ fr\ par\ DH} \times \left(\max\left(0\ ;\min(\mathrm{DH_g}\ ;\mathrm{seuil_{haut}}) - \mathrm{seuil_{bas}}\right)\right) \times Coef_{zone\ clim\ et\ alt}}{CoefEP[électricité]} \quad (2548)$$

Où :

$\mathrm{Usage_{z,g}}$	**Coef_kWh_fr_par_DH**
Maison individuelle	0,011
Logement collectif	0,011
Bureaux	0,009
Enseignement (secondaire ou primaire jour)	0,016

Tableau 338 : Coefficient de consommation de froid en fonction des DH d'inconfort du groupe par type d'usage de la zone qui contient le groupe (en kWhep/m²/an/(°C.h))

Coef_zone_clim_et_alt	**Altitude**		
Zone climatique	**[0m ; 400m]**	**[400m ; 800m]**	**[800m ; …[**
H1a	0,8	0,6	0,4
H1b	1	0,8	0,6
H1c	1	0,8	0,6
H2a	0,7	0,5	0,3
H2b	1	0,8	0,6
H2c	1,1	0,9	0,7
H2d	1,2	1	0,8
H3	1,2	1	0,8

Tableau 339 : Coefficient de modulation du forfait de refroidissement en fonction de la zone climatique et de l'altitude (sans unité)

13.3.3.2 *Ajout de la valeur du forfait aux sorties du mode Th-C*

La valeur **Cef_fr_elec_refroidissement,g** du forfait de consommation de refroidissement de chaque groupe est à ajouter **en post traitement** des données au niveau des consommation d'énergie du groupe, de la zone correspondante et du bâtiment.

S'agissant d'un **forfait annuel**, cette consommation ne peut être ajoutée aux valeurs mensuelles. Le forfait est donc ajouté à l'étape de calcul des consommations d'énergie **annuelles** en énergie

finale (Cef) par somme des consommations mensuelles. Cela concerne les consommations **d'énergie électrique** et de **refroidissement**.

Cet ajout s'insère, (dans le cas où il y a bien un forfait de refroidissement) dans le calcul des sorties du mode Th-C annuelles dans la fiche ***C_CALC_Sorties_Mode_Th-C***, paragraphes « **Résultats annuels** » des calculs d'indicateurs **aux niveaux groupes, zones et bâtiments**.

L'ajout d'un forfait de refroidissement étant un cas particulier obtenu par les conditions définies en début de fiche (sur les DH, et pour les groupes non climatisés), les formules de la fiche ***C_CALC_Sorties_Mode_Th-C*** ne sont pas modifiées directement, pour plus de lisibilité. Dans ce cas les formules de cumul de consommation et import d'énergie électrique pour le refroidissement se voient ajouter le forfait comme présenté dans les équations ci-dessous, en pondérant les valeurs de consommation de froid par la surface de chaque groupe considéré :

Au niveau **groupe** :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] + Cef\_fr\_elec\_refroidissement, g \quad (2549)$$

Au niveau **zone** :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] + \sum_{groupe \in zone} [Cef\_fr\_elec\_refroidissement, g] * \frac{\text{SREFgr}}{\text{SREFzn}} \quad (2550)$$

Au niveau **bâtiment** :

$$O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_annuel = \sum_{mois} [O\_Cef\_imp\_[poste]\_[energie]\_mois] + \sum_{groupe \in bâtiment} [Cef\_fr\_elec\_refroidissement, g] * \frac{\text{SREFzn}}{\text{SREFbat}} \quad (2551)$$

Où **[poste]_[energie]** prend uniquement les valeurs : **Fr** (refroidissement toutes énergies confondues) ; **élec** (énergie électrique tous postes confondus) ou bien **Fr_élec** (refroidissement, énergie électrique) en fonction des valeurs qui existent aux niveaux groupe / zone / bâtiment dans les sorties de Th-C.

Cet ajout s'applique aux valeurs d'énergie importées mais également aux valeurs d'énergie consommées : O_Cef_cons_[poste]_[energie]_annuel.

Le forfait étant ajouté au niveau du calcul des consommations en énergie finale (Cef), il est bien pris en compte dans le calcul du Cep ultérieur de la fiche ***C_CALC_Sorties_Mode_Th-C.***

13.4 C_Calc_Bilans_Energies_Consommees_et_importées

13.4.1 INTRODUCTION

La présente fiche décrit l'ensemble des bilans des quantités d'énergies consommées, produites et importées menés à la fin de chaque pas de temps de calcul. Ces calculs sont menés au niveau de chaque groupe, zone et bâtiment du projet.

Ils sont menés de manière séquentielle selon la logique suivante :

- Consommations au niveau du groupe, puis de la zone, puis du bâtiment,
- Production d'électricité au niveau du bâtiment,
- Importations d'énergie au niveau du bâtiment, puis de la zone.

Elle présente également les calculs réalisés pour obtenir les différents taux d'autoconsommations nécessaires.

13.4.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 340 donne la nomenclature des différentes variables utilisées dans l'algorithme.

Entrées

Nom	Description	Unité
$Q_{req,ch}^{em}(h)$ $Q_{req,fr}^{em}(h)$	Besoins en énergie de chauffage et de refroidissement des émetteurs du groupe	Wh
$Q_{w\_bruts}^{gr}(h)$	Besoins en ECS totaux bruts du groupe	Wh
$Q_{cef(poste;energie)}^{gen,gr}(h)$	Matrice des consommations par poste (chauffage, refroidissement et ECS) et énergie de la génération gen attribuées au groupe gr	Wh
$Q_{ef-prelec}^{gen,gr}(h)$	Energie électrique finale produite par la génération attribuée au groupe gr pour le pas de temps h.	Wh
$W_{ventmoy}^{s,gr}(h)$ $W_{vent-loc-tot}^{gr}(h)$ $W_{abs-GA}^{gr}(h)$	Consommations des ventilateurs des centrales, des ventilateurs locaux des émetteurs, et des ventilateurs des brasseurs d'air du groupe	Wh
$W_{ecl}^{gr}(h)$	Consommations d'éclairage du groupe gr	Wh
$W_{aux\ prim-e}^{dp-e,gr}(h)$ $W_{aux}^{dp,gr}(h)$ $W_{aux}^{ds}(h)$ $W_{aux}^{dCTA,gr}(h)$	Consommations des auxiliaires de distribution d'eau pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS attribuées au groupe gr	Wh
$W_{cef\_ecl\_park}^{z}(h)$	Consommation pour l'éclairage des parkings associée à la zone zn	Wh
$W_{cef\_ecl\_parties\_communes}^{z}$	Consommation pour l'éclairage des parties communes des logements collectifs	Wh
$W_{cef\_vent\_park}^{z}(h)$	Consommation pour la ventilation des parkings associée à la zone zn	Wh
$W_{cef\_ascenseur}^{z}(h)$	Consommation des ascenseurs associés à la zone zn	Wh

$W^{z}_{cef\_\text{escalators}}(h)$	Consommation des escalators associés à la zone zn	
$Cef^{cogé,bat}_{ch\_comb}$	Consommation d'énergie finale des cogénérations du bâtiment objet de l'étude pour la satisfactions des besoins de chauffage	Wh
$Cef^{cogé,bat}_{ecs\_comb}$	Consommation d'énergie finale des cogénérations du bâtiment objet de l'étude pour la satisfactions des besoins d'eau chaude sanitaire	Wh
$E^{bat}_{elec-prod-PV-integre}(h)$ $E^{bat}_{elec-prod-PV-parcelle}(h$	Quantités d'énergie électrique produites par les installations photovoltaïques intégrées au bâtiment / sur parcelle attribuées au bâtiment	Wh

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q^{gr}_{req-ch}(h)$ $Q^{gr}_{req-fr}(h)$	Besoins en énergie de chauffage et refroidissement aux bornes des émetteurs des groupes	Wh
$Q^{gr}_{req-gen-ch}(h)$ $Q^{gr}_{req-gen-fr}(h)$	Besoins en énergie de chauffage et refroidissement aux bornes des générations attribuées au groupe	Wh
$Q^{gr}_{cef(poste\,;energie)}(h)$ $Q^{zn}_{cef(poste\,;energie)}(h)$ $Q^{bat}_{cef(poste\,;energie)}(h)$	Matrice des consommations d'énergie horaires par poste (chauffage, refroidissement et ECS) et par type d'énergie (gaz, fioul, bois, électricité, réseau) pour le groupe gr / la zone zn / le bâtiment bat	Wh
$W^{gr}_{elec-cons[poste]}(h)$ $W^{zn}_{elec-cons[poste]}(h)$ $W^{bat}_{elec-cons[poste]}(h)$	Vecteur des consommations horaires en énergie électrique pour les postes chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, auxiliaires de distribution, auxiliaires de ventilation, déplacement des occupants et usages mobiliers du groupe gr / de la zone zn / du bâtiment bat	Wh
$Cef^{cogé,bat}_{tot\_comb}$	Consommation d'énergie finale des cogénérations du bâtiment objet de l'étude pour la satisfactions des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire	Wh
$E^{gr}_{elec-prod-coge}(h)$ $E^{zn}_{elec-prod-coge}(h)$ $E^{bat}_{elec-prod-coge}(h)$	Production totale d'électricité par les cogénérateurs attribuée au groupe gr/ à la zone zn / au bâtiment bat	Wh
$E^{zn}_{elec-prod-coge}(h)$ $E^{bat}_{elec-prod-coge}(h)$	Production totale d'électricité par les installations photovoltaïque attribuées à la zone zn / au bâtiment bat	Wh
$\mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-tot}(h)$	Production totale d'électricité du bâtiment bat	Wh
$\mathrm{E}^{bat}_{elec\_prod\_AC}(h)$	Production totale d'électricité autoconsommée par le bâtiment bat	Wh
$\mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-PV-AC}(h)$ $\mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-coge-AC}(\boldsymbol{h})$	Production d'électricité par les installations photovoltaïques / par les cogénérateurs et autoconsommée par le bâtiment bat	Wh
$TAC^{bat}(h)$	Taux d'autoconsommation de l'électricité produite localement pour le bâtiment bat	Réel (0 à 1)

$TAP^{bat}(h)$	Taux d'autoproduction de l'électricité consommée par le bâtiment bat	Réel (0 à 1)
TAC_coge_global (h)	Taux d'autoconsommation annuel du bâtiment par rapport à la production totale de chaleur et d'électricité des modules de cogénération	Réel (0 à 1)
$W^{bat}_{elec-IMP[poste]}(h)$ $W^{zn}_{elec-IMP[poste]}(h)$	Vecteur des quantités d'énergie électriques importées par poste par le bâtiment bat / la zone zn	Wh
$W^{bat}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h)$ $W^{zn}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h)$	Quantités d'énergie électriques importées tous postes confondus pour le bâtiment bat / la zone zn	Wh

Tableau 340 : Nomenclature du modèle

13.4.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

13.4.3.1 ***Bilan des quantités d'énergie consommées du groupe***

Le niveau GROUPE ne possède de consommations que pour les postes chauffage, refroidissement, ventilation, ECS, éclairage et distribution.

13.4.3.1.1 Matrice des consommations en énergies finale du groupe

Après les calculs de sorties au niveau de la génération (avec l'exposant *gen*), puis celles au niveau de la génération pour un groupe (avec l'exposant *gen,gr*), l'objectif des paragraphes ci-dessous est d'exprimer les sorties au niveau d'un groupe (avec l'exposant *gr*).

Les consommations des générations desservant le groupe se présentent sous la forme de la matrice du Tableau 341. Les lignes représentent les différentes postes de consommations associés aux composants générateurs et assemblages avec stockage. Les colonnes correspondent aux différents types d'énergie rencontrés.

En Wh	*10 : Gaz*	*20 : Fioul*	*30 :Charbon*	*40 : Bois*	*50 :Electricité*	*60 : Réseau de chaleur*
1 : Chauffage	$Q_{cef(1\,;10)}$	$Q_{cef(1\,;20)}$	…			
2 : Refroidiss.	$Q_{cef(2\,;10)}$	…				…
3 : ECS	…				…	$Q_{cef(3\,;60)}$

Tableau 341 : Matrice des consommations en énergies finales $\{Q_{cef\,(poste\,;énergie)}^{gen,gr}(h)\}$

Cette matrice est en sortie de la génération (voir fiche C_GEN_Calculs génération). On récupère à chaque pas de temps h les matrices des consommations en énergie finale des générations reliées au groupe pour sommer chaque case de la matrice :

$$Q_{cef(poste\,;energie)}^{gr}(h) = \sum_{gen \to gr} Q_{cef(poste\,;energie)}^{gen,gr}(h) \qquad (2552)$$

13.4.3.1.2 Calculs horaires des demandes en énergies totales de chaque groupe

Deux types de besoins sont calculés pour chaque groupe :

- Les besoins aux bornes des émetteurs du groupe :

$$\begin{cases} Q_{req\_ch}^{gr}(h) = \sum_{em \in gr} Q_{req,ch}^{em}(h) \\ Q_{req\_fr}^{gr}(h) = \sum_{em \in gr} Q_{req,fr}^{em}(h) \end{cases} \qquad (2553)$$

- Les besoins en entrée de la génération, $Q_{req,gen,ch}^{gr}(h)$ *et* $Q_{req,gen,fr}^{gr}(h)$. Il s'agit des demandes en énergies totales aux bornes de l'ensemble des génération du projet, pertes de distributions incluses. Elles sont utilisées comme référence pour la détermination des saisons par groupe. La fiche calculs groupe fournit l'ensemble des valeurs nécessaires sur la période d'intégration (en général les 28 jours précédant le jour *j*) utilisée dans les procédures de détermination des saisons par groupe .

$$\begin{cases} Q_{req\_gen\_ch}^{gr}(h) = \sum_{gen \to gr} Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) \\ Q_{req\_gen\_fr}^{gr}(h) = \sum_{gen \to gr} Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) \end{cases} \qquad (2554)$$

13.4.3.1.3 Consommations de chauffage, refroidissement et ECS du groupe

Pour un pas de temps *h*, la consommation totale de chauffage, (respectivement refroidissement et ECS) en énergie finale d'un groupe correspond à la somme de l'ensemble des valeurs constituant la ligne 1 (respectivement 2 et 3) de toutes les matrices des générations reliées à ce groupe (Tableau 341) :

$$Q^{gr}_{cef(poste\,;energie)}(h) = \sum_{gen \in gr} \sum_{en=10}^{60} \left(Q^{gen,gr}_{cef(poste\,;energie)}(h) \right) \quad (2555)$$

Par ailleurs, on remplit également le vecteur des consommations électriques du groupe :

$$W^{gr}_{elec-cons[ch]}(h) = \sum_{gen \in gr} \sum_{en=10}^{60} \left(Q^{gen,gr}_{cef(ch;elec)}(h) \right) \quad (2556)$$

$$W^{gr}_{elec-cons[fr]}(h) = \sum_{gen \in gr} \sum_{en=10}^{60} \left(Q^{gen,gr}_{cef(fr;elec)}(h) \right) \quad (2557)$$

$$W^{gr}_{elec-cons[ECS]}(h) = \sum_{gen \in gr} \sum_{en=10}^{60} \left(Q^{gen,gr}_{cef(ecs;elec)}(h) \right) \quad (2558)$$

13.4.3.1.4 Consommations horaires des auxiliaires de ventilation du groupe

Les consommations d'auxiliaires de ventilation du groupe incluent les consommations des auxiliaires des centrales de traitement d'air (intégrant celles des éventuels puits climatiques) et des ventilateurs locaux des émetteurs du groupe (calculées au niveau des émissions équivalentes).

$$W^{gr}_{elec-cons[auxvent]}(h) = W^{s,gr}_{ventmoy}(h) + W^{gr}_{vent-loc-tot}(h) + W^{gr}_{abs-GA}(h) \quad (2559)$$

13.4.3.1.5 Consommations des auxiliaires de distribution du groupe

Les consommations d'auxiliaires de distribution attribuées au groupe s'obtiennent par sommation des composantes de distribution du groupe, intergroupes et de CTA :

$$W^{gr}_{elec-cons[auxdist]}(h) = \sum_{dp-e \to gr} W^{dp-e,gr}_{aux\_prim-e}(h) + \sum_{dp \to gr} W^{dp,gr}_{aux}(h) + \sum_{ds \in gr} W^{ds}_{aux}(h) + \sum_{dCTA \to gr} W^{dCTA,gr}_{aux}(h) \quad (2560)$$

13.4.3.2 *Bilan des quantités d'énergie consommées de la zone*

Les consommations au niveau de la zone sont obtenues par sommation sur l'ensemble des groupes, auxquels on ajoute les consommations de parking (éclairage et ventilation), et de mobilité des occupants (ascenseurs, escalators).

13.4.3.2.1 Matrice des consommations en énergies finale de la zone

$$Q^{zn}_{cef(poste\,;energie)}(h) = \sum_{gr \in zn} Q^{gr}_{cef(poste\,;energie)}(h) \quad (2561)$$

En particulier, les consommations horaires en énergie électriques sont distinguées :

$$W^{zn}_{elec-cons[ch]}(h) = \sum_{gr \in zn} W^{gr}_{elec-cons[ch]}(h) \quad (2562)$$

$$W^{zn}_{elec-cons[fr]}(h) = \sum_{gr \in zn} W^{gr}_{elec-cons[fr]}(h) \quad (2563)$$

$$W_{elec-cons[ecs]}^{zn}(h) = \sum_{gr \in zn} W_{elec-cons[ecs]}^{gr}(h) \quad (2564)$$

13.4.3.2.2 Consommations horaires d'éclairage de la zone

$$W_{elec-cons[ecl]}^{zn}(h) = \sum_{gr \in zn} W_{elec-cons[ecl]}^{gr}(h) + W_{cef\_ecl\_park}^{z}(h) + W_{cef\_ecl\_parties\_communes}^{z}(h) \quad (2565)$$

13.4.3.2.3 Consommations horaires des auxiliaires de ventilation de la zone

$$W_{elec-cons[auxvent]}^{zn}(h) = \sum_{gr \in zn} W_{elec-cons[auxvent]}^{gr}(h) + W_{cef\_vent\_park}^{z}(h) \quad (2566)$$

13.4.3.2.4 Consommations horaires des auxiliaires de distribution de la zone

$$W_{elec-cons[auxdist]}^{zn}(h) = \sum_{gr \in zn} W_{elec-cons[auxdist]}^{gr}(h) \quad (2567)$$

13.4.3.2.5 Consommations horaires des auxiliaires associés au déplacement des occupants de la zone

$$W_{elec-cons[depl]}^{zn}(h) = W_{cef\_ascenseurs}^{z}(h) + W_{cef\_\text{escalators}}^{z}(h) \quad (2568)$$

13.4.3.2.6 Consommation électrique horaire totale de la zone

Sur le périmètre RE2020 :

$$W_{elec-hors-mobilier}^{zn}(h) = \sum_{poste} \left[W_{elec-cons[poste]}^{zn}(h)\right] \quad (2569)$$

Sur le périmètre RE2020 et les usages mobiliers :

$$W_{elec\_tous\_usages}^{zn}(h) = W_{elec-hors-mobilier}^{zn}(h) + W_{cef-mobilier}^{zn}(h) \quad (2570)$$

13.4.3.3 *Bilan des énergies consommées au niveau du bâtiment*

Les consommations du niveau Batiment sont obtenues par sommation sur l'ensemble des zones.

13.4.3.3.1 Matrice des consommations en énergies finale du bâtiment

$$Q_{cef(poste\,;énergie)}^{bat}(h) = \sum_{zn \in bat} Q_{cef(poste\,;énergie)}^{zn}(h) \quad (2571)$$

13.4.3.3.2 Consommation électrique horaire du bâtiment par poste

Pour l'ensemble des postes de consommations électriques :

$$W_{elec-cons[poste]}^{bat}(h) = \sum_{zn \in bat} W_{elec-cons[poste]}^{zn}(h) \quad (2572)$$

13.4.3.3.3 Consommation électrique horaire totale de la zone

Sur le périmètre RE2020 :

$$W^{bat}_{elec-hors-mobilier}(h) = \sum_{poste} \left[W^{bat}_{elec-cons[poste]}(h)\right] \quad (2573)$$

Sur le périmètre RE2020 et les usages mobiliers :

$$W^{bat}_{elec\_tous\_usages}(h) = W^{bat}_{elec-hors-mobilier}(h) + W^{bat}_{cef-mobilier}(h) \quad (2574)$$

13.4.3.4 *Bilan de la production d'énergie électrique au niveau bâtiment*

13.4.3.4.1 Calcul de la production d'électricité par la cogénération

La production d'électricité pour la cogénération est calculée par sommation sur l'ensemble des générations liées au groupe gr :

$$E^{gr}_{elec-prod-coge}(h) = \sum_{gen \rightarrow gr} Q^{gen,gr}_{ef\_\mathrm{prelec}}(h) \quad (2575)$$

Pour les niveaux Zone et Bâtiment, on somme ensuite la production de chaque groupe :

$$E^{zn}_{elec-prod-coge}(h) = \sum_{gr \in zone} E^{gr}_{elec-prod-coge}(h) \quad (2576)$$

$$E^{bat}_{elec-prod-coge}(h) = \sum_{zn \in bat} E^{zn}_{elec-prod-coge}(h) \quad (2577)$$

13.4.3.4.2 Calcul des énergies produites au niveau du bâtiment par les capteurs photovoltaïques

La production horaire photovoltaïque associée au bâtiment est la somme de l'énergie produite par les capteurs photovoltaïques sur le bâtiment et d'une partie de l'énergie produite par les capteurs photovoltaïques de la parcelle, décrits au niveau du projet. Ainsi :

$$E^{bat}_{elec\_prod\_PV}(h) = E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_integre}(h) + E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_parcelle}(h) \quad (2578)$$

Avec :

- $E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_integre}(h)$: l'énergie électrique produite par bâtiment par les panneaux PV est la somme des énergies produites par les différentes productions photovoltaïques (niveau projet et niveau bâtiment) :

$$E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_integre}(h) = \sum_{PV \in bat} \left(P^{PV}_{ond}(h)\right) \quad (2579)$$

- $E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_parcelle}(h)$: pour la production photovoltaïque associée au projet, on détermine la valeur horaire associée à chaque bâtiment. Elle est répartie par bâtiment au prorata des consommations électriques horaires tous usages de ce bâtiment par rapport aux consommations électriqu

$$E^{bat}_{elec\_prod\_PV\_parcelle}(h) = \sum_{PV\_projet} \left(P^{PV\_projet}_{ond}(h)\right) \times \frac{W^{bat}_{elec\_tous\_usages}(h)}{\sum_{bat} W^{bat}_{elec\_tous\_usages}(h)} \quad (2580)$$

es horaires tous usages du projet selon l'équation ci-dessous :

13.4.3.4.3 Calcul de la production d'électricité totale au niveau du bâtiment

$$E^{bat}_{elec\_prod\_tot}(h) = E^{bat}_{elec\_prod\_PV}(h) + E^{bat}_{elec\_prod\_coge}(h) \quad (2581)$$

13.4.3.5 *Calcul de l'énergie électrique autoconsommée, importée et exportée au niveau bâtiment*

13.4.3.5.1 Bilan des énergies produites et consommées pour le calcul de la quantité d'énergie autoconsommée

L'objet de ce paragraphe est le calcul de la quantité d'énergie produite localement et autoconsommée $\mathbf{E}^{\boldsymbol{bat}}_{\boldsymbol{elec\_prod\_AC}}(\boldsymbol{h})$, en tenant compte de toutes les productions d'électricité (panneaux photovoltaïques et cogénération) et de tous les postes de consommations électriques (usages mobiliers compris).

On en déduit :

$$\mathbf{E}^{\boldsymbol{bat}}_{\boldsymbol{elec\_prod\_AC}}(\boldsymbol{h}) = \mathbf{MIN}(\boldsymbol{E}^{\boldsymbol{bat}}_{\boldsymbol{elec\_prod\_tot}}(\boldsymbol{h})\ ;\ \boldsymbol{W}^{\boldsymbol{bat}}_{\boldsymbol{elec\_tous\_usages}}(\boldsymbol{h})) \quad (2582)$$

On en déduit les taux d'autoconsommation et d'autoproduction de la production électrique du bâtiment :

$$TAC^{bat}(h) = \frac{\mathrm{E}^{bat}_{elec\_prod\_AC}(h)}{E^{bat}_{elec\_prod\_tot}(h)} \quad (2583)$$

$$TAP^{bat}(h) = \frac{\mathrm{E}^{bat}_{elec\_prod\_AC}(h)}{W^{bat}_{elec\_tous\_usages}(h)} \quad (2584)$$

Note : dans le cas où $E^{bat}_{elec\_prod\_tot}(h)$ est nul, $TAC^{bat}(h)$ est pris égal à 0.

Enfin, on déduit l'énergie autoconsommée pour chacune des productions (panneaux photovoltaïques puis cogénération). La répartition est faite au prorata des productions de chaque système :

$$\mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-PV-AC}(h) = TAC^{bat}(h) \times \mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-PV}(h) \quad (2585)$$

$$\mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-coge-AC}(h) = TAC^{bat}(h) \times \mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-coge}(h) \quad (2586)$$

Pour chaque zone zn appartenant à un bâtiment bat :

$$\mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-AC}(h) = TAC^{bat}(h) \times \mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-tot}(h) \quad (2587)$$

$$\mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-PV-AC}(h) = TAC^{bat}(h) \times \mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-PV}(h) \quad (2588)$$

$$\mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-coge-AC}(h) = TAC^{bat}(h) \times \mathrm{E}^{zn}_{elec-prod-coge}(h) \quad (2589)$$

13.4.3.5.2 Quantités d'énergie électriques importées par le bâtiment

Pour l'ensemble des postes de consommation électrique :

$$W^{bat}_{elec-IMP[poste]}(h) = W^{bat}_{elec-cons[poste]}(h) \times (1 - TAP^{bat}(h)) \quad (2590)$$

Et pour chaque zone zn appartenant au bâtiment bat :

$$W^{zn}_{elec-IMP[poste]}(h) = W^{zn}_{elec-cons[poste]}(h) \times (1 - TAP^{bat}(h)) \quad (2591)$$

Tous usages :

$$W^{bat}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h) = \sum_{poste} \left[W^{bat}_{elec-IMP[poste]}(h)\right] \quad (2592)$$

$$W^{zn}_{elec\_tous\_usages\_IMP}(h) = \sum_{poste} \left[W^{zn}_{elec-IMP[poste]}(h)\right] \quad (2593)$$

13.4.3.5.3 Taux d'autoconsommation global (électrique et chaleur) des installations de cogénération pour la détermination de l'impact environnemental

On détermine ici un taux d'autoconsommation global pour la cogénération qui prend en compte l'électricité mais aussi la chaleur. Ce taux est utilisé pour déterminer la part de l'impact environnemental de la cogénération qui est à supporter par le bâtiment.

Pour ce faire, on vient diviser les énergies autoconsommées (électrique et chaleur, cette dernière étant ici supposée autoconsommée à 100%) par les consommations d'énergie (électricité produite et chaleur fournie, cette dernière étant donc identique à la valeur du numérateur).

La consommation de la cogénération prise en compte est la suivante :

Pour tous les objets générateurs à combustion tels *que Is_cogénération* =1 (un module de cogénération est présent) :

$$\boldsymbol{Cef}^{\text{cogé}}_{\boldsymbol{comb\_tot}}(\boldsymbol{h}) = \frac{\boldsymbol{Cef}^{\boldsymbol{coge,bat}}_{\boldsymbol{ch\_comb}}(\boldsymbol{h}) + \boldsymbol{Cef}^{\boldsymbol{coge,bat}}_{\boldsymbol{ECS\_comb}}(\boldsymbol{h})}{\boldsymbol{SREF}^{\boldsymbol{bat}}} \quad (2594)$$

$$\boldsymbol{Cef}^{\boldsymbol{coge,bat}}_{\boldsymbol{comb\_tot}}(\boldsymbol{h}) = \sum_{\boldsymbol{coge€bat}} \boldsymbol{C}^{\boldsymbol{coge,bat}}_{\boldsymbol{comb\_tot}}(\boldsymbol{h}) \quad (2595)$$

On en déduit alors le taux d'autoconsommation globale de la cogénération qui permet d'évaluer la part du système cogénération imputable au bâtiment d'un point de vue impact environnemental :

$$TAC^{bat}_{coge\_global}(h) = \frac{Cef^{coge,bat}_{comb\_tot}(h) + \mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-coge-AC}(h)}{Cef^{coge,bat}_{comb\_tot}(h) + \mathrm{E}^{bat}_{elec-prod-coge}(h)} \quad (2596)$$

Où :

$Cef^{coge,bat}_{comb\_tot}$ est la quantité de combustible horaire consommée par les cogénérateurs du bâtiment, calculée selon Th-BCE en kWhef/m²SREF.an, au niveau du bâtiment.

13.5 C_BAT_Confort_d'été

13.5.1 INTRODUCTION

L'objet de cette fiche est la détermination de l'indicateur de confort d'été conventionnel issu du mode de calcul Th-D, relatif au confort d'été. Cet indicateur est exprimé par groupe.

- **DH** (°C.h) :

L'indicateur degrés-heures (DH) permet d'évaluer l'inconfort pour les occupants, et, dans les cas des groupes climatisés, de l'inconfort potentiel des occupants si l'on retire le système de climatisation. Il s'agit de la somme de l'écart entre la température opérative du groupe et la température de confort adaptatif (température calculée heure par heure en fonction des températures des jours précédents).

Les données d'entrée restent identiques à celles d'un calcul Bbio/Cep.

13.5.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 342 donne la nomenclature des différentes variables du modèle de calcul de l'indicateur de confort d'été.

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Climat ext.	*Hleg*	Heure légale	h
	IHJ	Heure du jour	h
	$\theta_{ei}(h)$	Température extérieure	°C
	$Is_{conf\_adapt}(h)$	Indicateur de période de confort adaptatif 0 - hors période de confort adaptatif 1 - en période de confort adaptatif	-
	θ_{rm}(j)	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j.	°C
Scénario	$\theta_{iich}^{+}(h)$	Température de consigne de chauffage en période d'occupation	°C
	$\theta_{iifr}^{+}(h)$	Température de consigne de refroidissement en période d'occupation	°C
Simulation	$\theta_{op}(h)$	Température opérative du groupe à la fin du pas de temps *h*	°C
	$\Delta\theta_{op}^{corr\_syst}(h)$	Impact sur la température limite d'inconfort chaud dû aux systèmes d'amélioration du confort d'été (brasseurs d'air, humidification directe,…)	°C
Scénario	I_{occ_zone}	Indice d'occupation de la zone	bool

Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
	$Is_{climatise}^{gr}$	Indicateur au niveau du groupe précisant si le groupe est climatisé ou non (0=non climatisé / 1=climatisé)	-	0	1	-
Zone	$Usage_{zone}$	Usage de la zone	-	1	32	-
Simu	*Mode*	Mode de calcul (0-Th-B / 4-Th-D / 5-Th-DBC)	-	0	5	-

Sorties

Nom	Description	Unité
$\Delta\theta_{conf\_adapt}(h)$	Ecart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne de refroidissement en occupation (lié à la notion de confort adaptatif)	°C
Nbh_{inconf}	Nombre d'heures pour lesquelles la température opérative est supérieure à la température d'inconfort	h
$Nbh_{inconf+1C}$	Nombre d'heures pour lesquelles la température opérative est supérieure à la température d'inconfort + 1°C	h
$Nbh_{inconf+2C}$	Nombre d'heures pour lesquelles la température opérative est supérieure à la température d'inconfort +2°C	h

DH	Degrés-heures d'inconfort	°C.h			

Variables internes

Nom	Description	Unité			
$\theta_{rm}(j)$	Température extérieure moyenne journalière glissante valable au jour j.	°C			
$\theta_{op\_inc\_max}$	Seuil de température opérative d'inconfort chaud	°C			
$\theta_{op\_inc\_max\_C1}$ $\theta_{op\_inc\_max\_C2}$ $\theta_{op\_inc\_max\_C3}$	Seuil de température opérative d'inconfort chaud en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C			
$\theta_{op\_conf\_ch}(h)$	Température limite de confort chaud	°C			
$\theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h)$	Température limite de confort chaud corrigée	°C			
$\Delta\theta_{op\_inc\_C1}$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C2}$ $\Delta\theta_{op\_inc\_C3}$	Paramètres conventionnels intervenant dans la définition de $\theta_{op\_inc\_max}$, en catégorie d'ambiance 1, 2 et 3.	°C	-∞	+∞	2 3 4
Cat_amb	Catégorie d'ambiance du groupe considéré au regard des catégories 1, 2 et 3 définies ci-dessous	Entier	1	3	

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv
$\Delta\theta_{op\_min\_max}$	Ecart entre les températures opératives d'inconfort chaud minimale et maximale	°C	2

Tableau 342 : Nomenclature du modèle

13.5.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

13.5.3.1 ***Principe de calcul***

Le calcul de l'indicateur de confort d'été s'appuie sur la notion de confort adaptatif. Il consiste à sommer sur chaque pas de temps en période de confort adaptatif (c'est-à-dire lorsque les températures extérieures peuvent engendrer un inconfort) et en occupation, le nombre de degrés qui dépasse une zone de confort définie.

L'indicateur est calculé pour tous les groupes, climatisés ou non, mais dans le cas d'un groupe climatisé ($Is_{climatisé}$=1) le groupe est passé en non climatisé (on $Is_{climatisé}$=0) et le système de climatisation est désactivé.

Les étapes de calcul du modèle sont représentées sur le graphique suivant :

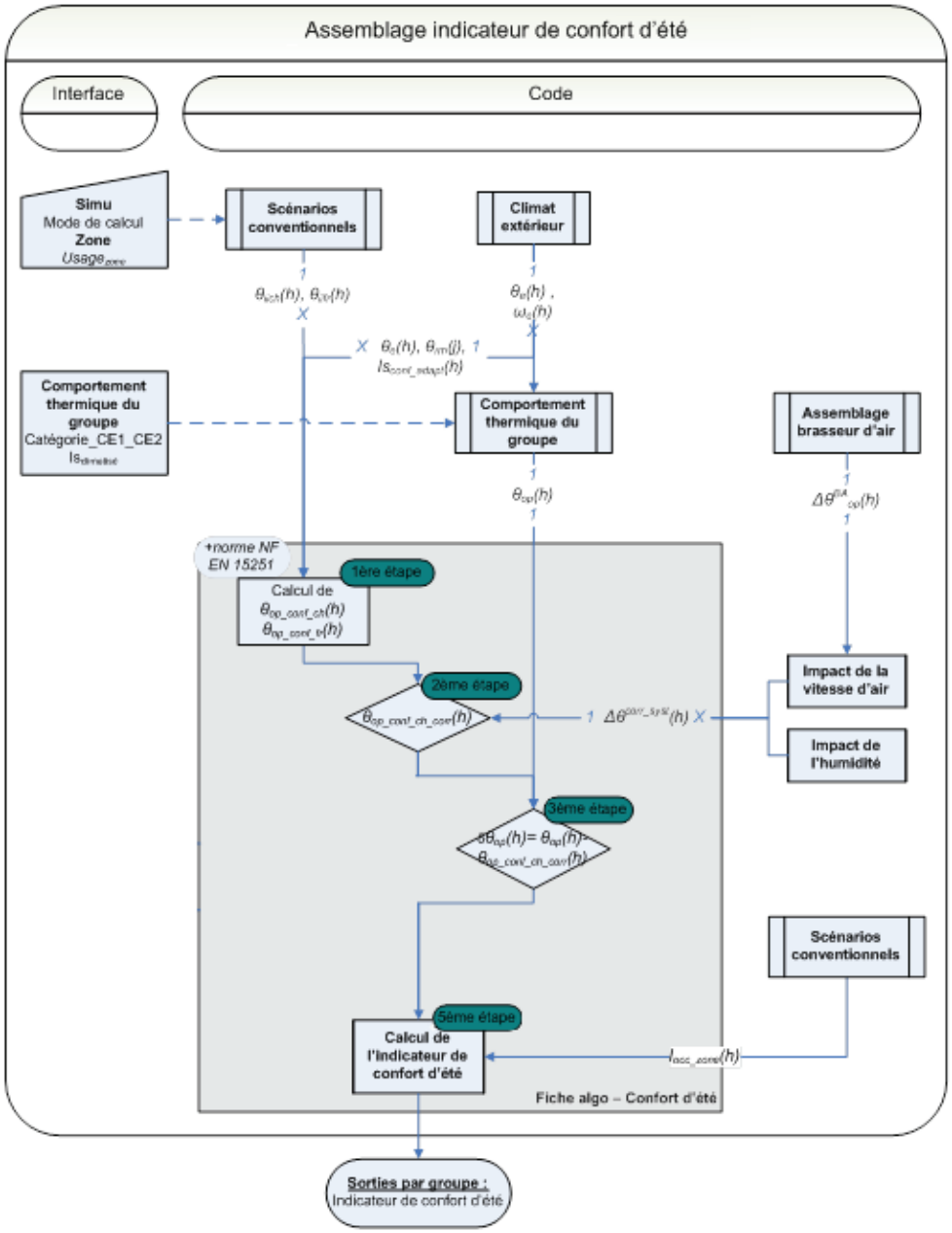


Figure 215 : schéma de principe

Les températures de consigne en occupation en chauffage et en refroidissement sont notées $\theta_{ii\_ch}^{+}(h)$ et $\theta_{ii\_fr}^{+}(h)$.

13.5.3.2 *Mode de calcul*

Les calculs de cette fiche algorithme ne sont effectués qu'en mode confort d'été, c'est à dire quand

$$Mode=4 \text{ ou } 5 \qquad (2597)$$

13.5.3.3 *Calcul de la température d'inconfort chaud*

La première étape du calcul consiste à définir quelle est la température à partir de laquelle l'occupant est en situation d'inconfort chaud.

La température d'inconfort chaud est calculée d'après la norme NF EN 16798-1. Elle s'appuie sur la notion de confort adaptatif.

(Note : les calculs ci-dessous sont strictement identiques à ceux de la fiche algorithme

C_Ein_Indicateurs de confort).

La température moyenne glissante au jour *j* de la température extérieure θ_{rm}(j) est calculée dans la fiche climat extérieur.

On détermine alors les valeurs de $\Delta\theta_{op\_inc}$ à utiliser dans le calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$, seuil d'inconfort maximal de température opérative ressentie pour les trois catégories d'ambiance. Les formules de calcul des $\theta_{op\_inc\_max}$ sont les suivantes :

$$\begin{aligned}\theta_{op\_inc\_max\_C1}(j) &= MAX(\theta^{+}_{iifr}; 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C1})\\ \theta_{op\_inc\_max\_C2}(j) &= MAX(\theta^{+}_{iifr}; 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C2})\\ \theta_{op\_inc\_max\_C3}(j) &= MAX(\theta^{+}_{iifr}; 0.33 \times \theta_{rm}(j) + 18.8 + \Delta\theta_{op\_inc\_C3})\end{aligned} \quad (2598)$$

La valeur de catégorie d'ambiance retenue dépend du type d'usage du projet :

USAGE de la zone au sens des scénarios	Valeur de *Cat_amb*
Bâtiments à usage d'habitation	1
Autres usages	1

Tableau 343: Relation entre les catégories d'ambiance et le type d'usage

Valeur maximale

Quel que soit l'usage, nous limiterons la température d'inconfort chaud à 2°C au-dessus de la température de consigne de refroidissement ($\Delta\theta_{op\_min\_max}$=2°C) [13].

Valeur minimale

De plus, l'échange thermique entre l'occupant et l'air ambiant est réduit en période de sommeil. Pour les usages d'habitation, la température d'inconfort chaud aux heures de la nuit est donc supposée égale à la température de consigne de refroidissement en occupation normale, sans effet du confort adaptatif.

Si le groupe appartient à une zone dont l'usage est de type « habitation » (maison individuelle, logement collectif, établissement sanitaire avec hébergement) :

Si $6 < h_{leg} \leq 22$,

$$\theta_{op\_conf\_ch}(h) = min\left(\theta^{+}_{iifr} + \Delta\theta op\_inc\_max\_C\ 1_{op\_min\_max}()\right) \quad (2599)$$

Sinon (période de sommeil),

$$\theta_{op\_conf\_ch}(h) = \theta^{+}_{iifr}$$

Pour les autres types d'usage

$$\theta_{op\_conf\_ch}(h) = min\left(\theta^{+}_{iifr} + \Delta\theta op\_inc\_max\_C\ 1_{op\_min\_max}()\right) \quad (2600)$$

La température d'inconfort chaud $\theta_{op\_conf\_ch}(h)$ est calculée à chaque heure et pour chaque groupe. Elle est, par définition, identique pour tous les groupes d'une même zone.

13.5.3.4 *Ecart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne*

[13] La norme NF EN 16798-1 précise que la base de données utilisée pour déterminer la température d'inconfort chaud est restreinte pour des θ_{rm}(j) supérieures à 25°C.

L'indicateur de période de confort adaptatif $Is_{conf\_adapt}(h)$ dépend des données météorologiques et est donc calculé dans la fiche algorithme « climat extérieur ».

Remarque : la température de consigne de refroidissement est donnée au niveau de la zone (puisque liée aux scénarios d'occupation). Cependant, quelle que soit sa valeur, par construction, nous sommes en période de confort adaptatif du premier jour au dernier jour de l'année où la $\theta_{rm}(j)$ est supérieure à 16°C. Cette condition ne dépend que du climat et est donc la même pour toutes les zones d'un bâtiment.

Par ailleurs, nous déterminons l'écart entre la température d'inconfort chaud et la température de consigne de refroidissement en occupation :

Si Mode=Th-D,

$$\Delta\theta_{conf\_adapt}(h) = max\left(0; \theta_{op\_conf\_ch}(h) - \theta^{+}_{iifr}\right) \quad (2601)$$

Par construction, cet écart est nul hors période de confort adaptatif. $\Delta\theta_{conf\_adapt}(h)$ est utilisé dans les modèles lorsque la température ressentie par l'occupant est un critère d'action sur le bâti.

13.5.3.5 *Déplacement de la zone de confort*

En présence de systèmes qui modifient la sensation thermique des occupants (par la création d'une vitesse d'air, un apport ou une diminution de l'humidité de l'air, etc.), la zone de confort est modifiée.

$$\theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h) = \theta_{op\_conf\_ch}(h) + \Delta\theta^{corr\_syst}(h) \quad (2602)$$

Cette température va être comparée à la température opérative du groupe.

13.5.3.6 *Calcul de* $\theta_{op}(h)$

La température opérative$\theta_{op}(h)$ est calculée heure par heure pour chaque groupe (cf. C_BAT_comportement thermique d'un groupe et C-Emi-Systèmes Emissions du groupe en chaud et en froid).

13.5.3.7 *Calcul des indicateurs pédagogiques*

Les calculs sont effectués en période de confort adaptatif et en période d'occupation (Is_{conf_adapt}(h)=1 et I_{occ_zone}(h)=1).

Initialisation au pas de temps 0 : $Nbh_{inconf} = Nbh_{inconf+1C} = Nbh_{inconf+2C} = 0$

Si $\theta_{op}(h) \geq \theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h)$

$$Nbh_{inconf} += 1 \quad (2603)$$

Si $\theta_{op}(h) \geq \theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h) + 1$

$$Nbh_{inconf+1C} += 1 \quad (2604)$$

Si $\theta_{op}(h) \geq \theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h) + 2$

$$Nbh_{inconf+2C} += 1 \quad (2605)$$

13.5.3.8 *Calcul de l'indicateur de confort d'été*

L'indicateur de confort d'été est égal au cumul de l'écart à la température de confort adaptatif de chaque heure. Les calculs sont effectués en période de confort adaptatif et en période d'occupation (Is_{conf_adapt}(h)=1 et I_{occ_zone}(h)=1).

$$DH = \sum_{\substack{h\ telle\ que \\ \left(\substack{Is\_occ\_zone(h)=1et \\ Is\_conf\_adapt(h)=1}\right)}} max\left(0; \theta_{op}(h) - \theta_{op\_conf\_ch\_corr}(h)\right) \quad (2606)$$

13.6 C_CALC_Indicateurs pédagogiques en fonction du nombre d'occupants

13.6.1 INTRODUCTION

La présente fiche algorithme décrit le calcul de la consommation (CEP) en fonction du nombre d'occupants.

La présente fiche présente comment le nombre d'occupants est calculé pour les usages résidentiels en fonction du type de logement, et comment des indicateurs pédagogiques rapportés au nombre d'occupants sont calculés à l'aide de cette valeur.

13.6.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 344 présente la nomenclature des différentes variables pour le calcul de l'Indicateur

Entrées du composant		
Nom	**Description**	**Unité**
$Nocc^{zn}$	Nombre total d'occupants de la zone	
Cep_annuel^{bat}	Consommation annuelle totale en énergie primaire du bâtiment	kWhep/m². an
$SREF^{bat}$	Surface de référence du bâtiment	m²

Sorties		
Nom	**Description**	**Unité**
$CEP\_annuel\_par\_occ$	Consommation totale en énergie primaire par occupant	kWhep/occ.an

Variables internes		
Nom	**Description**	**Unité**
$Nocc^{bat}$	Nombre total d'occupants du bâtiment	-

Tableau 344 : Nomenclature des différentes variables du modèle

13.6.3 DESCRIPTION MATHEMATIQUE

13.6.3.1 ***Hypothèses sur le nombre d'occupants***

Bâtiments résidentiels :

La réglementation introduit un indicateur présentant la consommation totale d'énergie primaire par occupant.

Le calcul de l'indicateur se fait par la division de l'indicateur CEP par le nombre d'occupants. Le nombre d'occupants en résidentiel n'étant pas connu, une balise est ajoutée au niveau de la zone pour permettre la saisie de cette valeur.

Le nombre d'occupants à saisir dans le calcul en résidentiel dépend du nombre et du type de logements présents dans le bâtiment. Il est égal au nombre de pièces principales du logement (séjour, chambres).

Nombre de pièces principales	Nombre d'occupants à retenir pour l'indicateur
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7

Tableau 345 – Nombre d'occupants à prendre en compte en fonction du nombre de pièces des logements

Ces valeurs peuvent être utilisés à pour calculer la valeur de la balise correspondante au nombre total des occupants des bâtiments résidentiels.

Bâtiments tertiaires :

Pour les bâtiments tertiaires les valeurs d'occupation issues des scenarios conventionnels **peuvent être utilisées.**

Pour les bâtiments d'enseignement le nombre d'occupants est pris égal au nombre d'élèves prévu lors de la programmation de la construction.

13.6.3.2 ***Algorithme de calcul de l'indicateur***

Dans un premier temps, pour chaque zone on doit récupérer le nombre d'occupants ($Nocc^{zn}$).

Le nombre d'occupants au niveau bâtiment est obtenu en sommant les nombre d'occupants de chaque zone :

$$Nocc^{bat} = \sum_{zn \in bat} Nocc^{zn} \qquad (2607)$$

La consommation annuelle par occupant est obtenue par la formule suivante :

Si $Nocc^{bat} = 0$ alors $Cep\_annuel\_par\_occ^{bat} = 0$ sinon

$$Cep\_annuel\_par\_occ^{bat} = \frac{Cep\_annuel^{bat} * SREF^{bat}}{Nocc^{bat}} \quad (2608)$$

14. GLOSSAIRE

Cette partie fournit un glossaire pour les principaux acronymes utilisés dans cette méthode de calcul.

Bbio : Besoin bioclimatique

BR : Caractérisation du classement au bruit d'une baie (peut prendre les valeurs BR1 BR2 BR3)

Cep : Consommations en énergie primaire

CESI : Chauffe-Eau Solaire Individuel

CESCAI : Chauffe-eau Solaire Collectif à stockage collectif et Appoint Individualisé

CESCI : Chauffe-eau Solaire Collectif à stockage et appoint Individualisé

CET : Chauffe-eau Thermodynamique

COP : Coefficient de Performance

CTA : Centrale de Traitement d'Air

DAC : Débit d'Air Constant

DAV : Débit d'Air Variable

DF : Double Flux

DRV : Débit de Réfrigérant Variable

EER : Energy Efficiency Ratio (ratio d'efficacité énergétique)

ENR : Energie Renouvelable

ECS : Eau chaude sanitaire

FOD : Fioul Ordinaire Domestique

GPL : Gaz de Pétrole Liquéfié

GPM : Gestion des Protections Solaires Mobiles

GUE : Gaz Utilisation Efficiency (Efficacité d'Utilisation du Gaz)

PAC : Pompe à chaleur

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur

PCI : Pouvoir calorifique inférieur

PM : Protection mobile

PV : Photovoltaïque

SF : Simple Flux

SSC : Système Solaire Combiné

15. SCENARIOS CONVENTIONNELS

Annexe IV : Règles « Th-Bat 2020 » - données d'entrée au calcul de la performance énergétique

SOMMAIRE

1. FASCICULE « GENERALITES » 4

1.1 INTRODUCTION AUX REGLES TH-BAT 4
1.1.1 Domaine d'application 4
1.1.2 Contenu 4
1.1.3 Références normatives 5
1.1.4 Définitions, symboles et indices 7

1.2 Détermination des caractéristiques thermiques utiles 12

1.3 Conventions 12
1.3.1 Température et humidité des matériaux 12
1.3.2 Résistances thermiques superficielles 12
1.3.3 Parois déperditives 13
1.3.4 Ponts thermiques des liaisons 16
1.3.5 Dimensions 16
1.3.6 Convention relative au cas des panneaux sandwichs lourds 18

1.4 Indicateurs complémentaires 19
1.4.1 Ration de transmission thermique linéique moyen global 19
1.4.2 Coefficient de transmission thermique Ψ_9 19
1.4.3 $U_{bât}$ 20

1.5 Coefficient de réduction de température 21
1.5.1 Calcul 21
1.5.2 Valeurs par défaut 22

2. FASCICULE « MATERIAUX » 29

2.1 Introduction 29
2.1.1 Références normatives 29
2.1.2 Termes et définitions, symboles et unités 31
2.1.3 Caractéristiques thermiques 32
2.1.4 Maçonneries 34

2.2 Valeurs par défaut 35
2.2.1 Pierres 35
2.2.2 Bétons 36
2.2.3 Plâtres 40
2.2.4 Terre cuite 41
2.2.5 Végétaux 41
2.2.6 Matériaux isolants manufacturés 45
2.2.7 Matières plastiques synthétiques compactes, mastics et produits d'étanchéité 53
2.2.8 Métaux 55
2.2.9 Autres matériaux 55

3. FASCICULE « PAROIS VITREES » 58

3.1 Introduction 58
3.1.1 Coefficient de transmission thermique U 58
3.1.2 Facteur de transmission solaire S 58
3.1.3 Facteur de transmission lumineuse TL 60

3.1.4 Références normatives 61
3.1.5 Définitions, symboles et indices 63
3.1.6 Facteurs de transmission solaire ou lumineuse : l'apport des règles Th-Bât 72

3.2 Méthodes de calcul des parois vitrées par procédé 75
3.2.1 Fenêtres et Portes-fenêtres 75
3.2.2 Fenêtres de toit 81
3.2.3 Fenêtres à galandage 82
3.2.4 Doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres 90
3.2.5 Blocs-baies 91
3.2.6 Coffres de volet roulant 95
3.2.7 Portes 99
3.2.8 Plaque de polycarbonate seule 103
3.2.9 Lanterneaux 105
3.2.10 Bardages et couvertures en polycarbonate 121
3.2.11 Parois en briques de verre 126
3.2.12 Conduits de lumière 133
3.2.13 Façades rideaux 140
3.2.14 Façades double peau 145
3.2.15 Verrières 157
3.2.16 Vérandas 167
3.2.17 Présentation des résultats 186

3.3 Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage 187
3.3.1 Méthode générale de prise en compte du coefficient U_w de la paroi vitrée 187
3.3.2 Méthode générale de prise en compte du coefficient S_w de la paroi vitrée 187
3.3.3 Méthode générale de prise en compte du facteur de transmission lumineuse TL_w de la paroi vitrée 206

4. FASCICULE « PAROIS OPAQUES » 220

4.1 Introduction 220
4.1.1 Domaine d'application 220
4.1.2 Références normatives 220
4.1.3 Définitions, symboles et indices 220

4.2 Caractéristiques thermiques utiles des parois opaques 226

4.3 Méthodes de calcul 226
4.3.1 Méthodes générales 226
4.3.2 Eléments de méthodes complémentaires 257

5. FASCICULE « PONTS THERMIQUES » 262

5.1 Introduction 262
5.1.1 Domaine d'application 262
5.1.2 Références normatives 262
5.1.3 Définitions, symboles et indices 262

5.2 Méthodes de calcul des ponts thermiques 264
5.2.1 Définition du pont thermique 264
5.2.2 Types de ponts thermiques 265
5.2.3 Procédure de calcul 265
5.2.4 Facteurs solaires 270

5.3 Valeurs par défauts des ponts thermiques 275
5.3.1 Légende : 275

6. FASCICULE « INERTIE » 287

CHAPITRE I 287

6.1 Introduction 287
6.1.1 les coefficients de l'inertie thermique 287
6.1.2 Références normatives 288
6.1.3 Nomenclature 291
6.1.4 Définitions 292
6.1.5 Lien aux autres fascicules 292

CHAPITRE II 293

6.2 La méthode forfaitaire 293
6.2.1 Détermination forfaitaire de la classe d'inertie quotidienne 293
6.2.2 Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle 295
6.2.3 Détermination forfaitaire de la classe d'inertie annuelle 297

Chapitre III 298

6.3 Détermination de l'inertie par le calcul 298
6.3.1 détermination de la capacité thermique surfacique 298
6.3.2 Détermination de l'inertie quotidienne par le calcul 302
6.3.3 Détermination de l'inertie séquentielle par le calcul 303
6.3.4 Détermination de l'inertie annuelle par le calcul 303

Chapitre IV 305

6.4 calcul des points d'inertie 305
6.4.1 Détermination de la classe d'inertie quotidienne par « points d'inertie » 306
6.4.2 Détermination de la classe d'inertie séquentielle par « points d'inertie » 316
6.4.3 Détermination de la classe d'inertie annuelle par « points d'inertie » 320

1. FASCICULE « GENERALITES »

1.1 INTRODUCTION AUX REGLES TH-BAT

1.1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les règles Th-Bât ont pour objet la détermination des données d'entrée aux calculs de la performance énergétique du bâtiment pour le calcul réglementaire. Elles ne traitent que de la performance thermique, énergétique et lumineuse utile [1] (des produits et/ou procédés d'enveloppe. Pour vérifier l'aptitude à l'emploi et l'absence de pathologie liée à la mise en œuvre d'un produit/procédé donné, il faut se reporter aux règles de l'art et/ou aux documents d'évaluation correspondants. Ainsi, les schémas qui y figurent ne constituent pas des détails d'exécution ou de mise en œuvre d'un produit/procédé ou système et ne servent qu'à illustrer les paramètres ayant un impact sur la performance thermique/énergétique/lumineuse de l'ensemble.

1.1.2 CONTENU

Les règles Th-bat constituent l'ensemble des formules, principes et moyens de détermination de la performance thermique, énergétique et lumineuse des composants d'enveloppe pour l'application des réglementations thermiques.

Elles fournissent également des valeurs par défaut qui peuvent être utilisées dans les conditions définies au chapitre V du présent arrêté.

Des conditions d'application particulières sont données dans les différents fascicules.
Les règles Th-Bat comportent six fascicules :

– Fascicule « Généralités »

Ce fascicule est commun aux cinq autres fascicules. Il définit le principe de caractéristiques thermiques utiles des parois et ponts thermiques, servant au calcul des performances énergétiques du bâtiment, et donne les conventions de calcul communes aux autres fascicules. Il fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Matériaux »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des matériaux et fournit des valeurs par défaut pour les matériaux les plus courants (conductivité thermique, capacité thermique massique et facteur de résistance à la vapeur d'eau) ;

– Fascicule « Parois vitrées »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermiques surfacique (U), des facteurs solaires (S) et des transmission lumineuses (TL) des parois vitrées et fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Parois opaques »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermiques surfacique (U), des facteurs solaires (S) des parois opaques et des lames d'air et fournit des valeurs par défaut.

– Fascicule « Ponts thermiques »

[1] Voir la définition d'une caractéristique thermique utile au §1.4.1

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques utiles des coefficients de transmission thermiques linéique (Ψ), des facteurs solaires (S) des ponts thermiques et fournit des valeurs par défaut pour les liaisons les plus courantes.

– Fascicule « Inertie »

Ce fascicule fournit les méthodes de détermination des caractéristiques thermiques dynamique à l'échelle de la paroi et du bâtiment. Il fournit également des valeurs par défaut.

1.1.3 REFERENCES NORMATIVES

La détermination des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment s'appuie principalement sur les travaux de la normalisation européenne.

La justification des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment peut s'effectuer de deux manières différentes : soit par un essai sur le composant qui sera mise en œuvre en appliquant l'une des normes d'essais référencées ci-après, soit par un calcul en appliquant les règles Th-bat et ses principes issus des normes de calcul, des normes produits ou autres normes listées ci-après.

Normes d'essai (version en vigueur à la date de publication des présentes règles Th-bat)

NF EN ISO 8302 Isolation thermique – Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire – Méthode de la plaque chaude gardée.

NF EN 12667 Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment. Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique. Produits de haute et moyenne résistance thermique.

NF EN ISO 8990 Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire - Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée

NF EN 12664 Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique

NF EN ISO 12567-1 Isolation thermique des portes et fenêtres – Détermination de la transmission thermique par la méthode de la boîte chaude.

NF EN 674 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de l'anneau de garde.

NF EN 675 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode du fluxmètre.

NF EN 12898 Verre dans la construction - Détermination de l'émissivité.

NF EN 12412-2 Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 2 : profilés de menuiserie.

NF EN 12412-4 Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 4 : coffres de volets roulants.

Normes de calcul

EN ISO 13789 Performance thermique des bâtiments – Coefficient de déperdition par transmission – Méthode de calcul.

NF EN ISO 10456 Isolation thermique – Matériaux et produits pour le bâtiment – Détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.

NF EN ISO 10077-1 Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.

NF EN ISO 10077-2 Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.

NF EN 673 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.

NF EN ISO 12631 Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.

NF EN ISO 6946 Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.

NF EN 13125 Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs – Résistance thermique additionnelle – Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit.

NF EN ISO 10211 Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés.

EN 410 Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages.

ISO 52022-3 Méthode de calcul détaillée des caractéristiques solaires et de lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages.

EN 14500 Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, méthode de calcul.

XP P50-777 Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse.

NF EN ISO 13370 Performance thermique des bâtiments - Transfert de chaleur par le sol - Méthodes de calcul.

NF EN ISO 13786 Performance thermique des composants du bâtiment – Caractéristiques thermiques dynamiques – Méthode de calcul

Normes produits

NF EN 1096 Verre dans la construction - Verre à couche.

NF EN 1279 Verre dans la construction – Vitrage isolant préfabriqué scellé.

NF EN 572 Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodo-calcique.

NF EN 14351-1 Fenêtres et portes — Norme produit, caractéristiques de performance — Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons.

NF EN 14501 Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification.

NF EN 16153 Plaques d'éclairement multiparois et planes en polycarbonate (PC) pour usage intérieur ou extérieur dans les toitures, bardages et plafonds - Exigences et méthodes d'essai.

NF EN 1873 Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais.

NF EN 14963 Éléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais.

NF EN 13830 Façades rideaux - Norme de produit.

Autres normes

NF EN ISO 7345 Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions

NF EN ISO 9346 Performance hygrothermique des bâtiments et des matériaux pour le bâtiment – Grandeurs physiques pour le transfert de masse – Vocabulaire.

1.1.4 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

1.1.4.1 ***Définitions***

Les définitions données ci-après s'appliquent à l'ensemble des règles Th- bat.

- Local : Un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois fixes ou mobiles.

- Baie : Une baie est une ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant à l'éclairage, le passage ou l'aération. Une paroi transparente ou translucide est considérée comme une baie

- Espace chauffé : Local ou volume fermé chauffé à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation.

- Dimensions intérieures : Dimensions mesurées de l'intérieur des locaux (voir paragraphe 3.5 de ce fascicule)

- Paroi opaque isolée : Paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas 0,5 W/(m^2.K).

- Paroi transparente ou translucide : Paroi dont le facteur de transmission lumineux (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire elle est dite opaque.

- Paroi verticale ou horizontale : Une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est supérieur ou égal à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés.

- Liaisons périphériques : Liaisons situées au pourtour d'une paroi donnée.

- Liaisons intermédiaires : Liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'une paroi donnée.

- Flux thermique ϕ en W : Quantité de chaleur transmise à (ou fournie par) un système, divisée par le temps.

- Conductivité thermique λ en W/(m.K) : Flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de ce matériau.

- Coefficient de déperdition par transmission H, en W/K : Flux thermique cédé par transmission entre l'espace chauffé et l'extérieur, pour une différence de température d'un kelvin entre les deux ambiances. Les températures intérieure et extérieure, sont supposées uniformes.

- Coefficient de transmission thermique surfacique U, en W/(m^2.K) : Flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.

- Coefficient de transmission thermique linéique Ψ en W/(m.K) : Flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.

- Coefficient de transmission thermique ponctuel χ en W/K : Flux thermique en régime stationnaire ramené à un point, pour une différence de température d'un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système.

- Coefficient de transmission thermique surfacique "équivalent" d'une paroi Ue, en W/(m^2.K) : Coefficient de transmission surfacique tenant compte à la fois des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (sol, vide sanitaire, sous-sol non chauffé …)

- Résistance thermique R, en m^2.K/W : Inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température d'un kelvin entre les deux faces de ce système.

- Résistance thermique superficielle Rs, en m^2.K/W: Inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température d'un kelvin entre celles-ci.

- Façade rideau : Façade légère constituée d'un assemblage de profilés d'ossature et de menuiserie et d'éléments de remplissage opaques, transparents, ou translucides. Elle peut comporter une ou plusieurs parois et elle est entièrement située en avant d'un nez de plancher.

- Pont thermique intégré : Elément intégré dans la paroi, donnant lieu à des déperditions thermiques supplémentaires.

- Plancher bas : Paroi horizontale (α < 60°) donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure (voir Figure 1).

- Plancher intermédiaire : Paroi horizontale (α < 60°) donnant, sur ses faces inférieures et supérieures, sur des locaux chauffés (voir Figure 1).

- Plancher haut : Paroi horizontale (α < 60°) donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure (voir Figure 1).

- Caractéristique thermique : Propriété relative à la transmission de la chaleur, servant directement ou indirectement au calcul des transferts de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment. On cite notamment : la conductivité thermique (λ), la résistance thermique (R), le coefficient de transmission surfacique (U), linéique (Ψ) ou ponctuel (χ).

- Caractéristique thermique utile : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc…).

- Caractéristique thermique déclarée : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Document d'Evaluation Européen). ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrées dans le bâtiment.)

- Avis Technique et Document Technique d'Application: on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application tout avis formule conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faires et pratiques traditionnels.

- Certification : On entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service ou une combinaison de produits et de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification reconnu par tous les acteurs et rendu public. En France, la certification est régie par les articles R-433-1 à R 433-2 et L 433-3 à L 433-11du code de la consommation

- Valeurs tabulées : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes.
- Valeur par défaut : valeur sécuritaire à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf, en absence de valeurs déclarées et sans justification particulière.

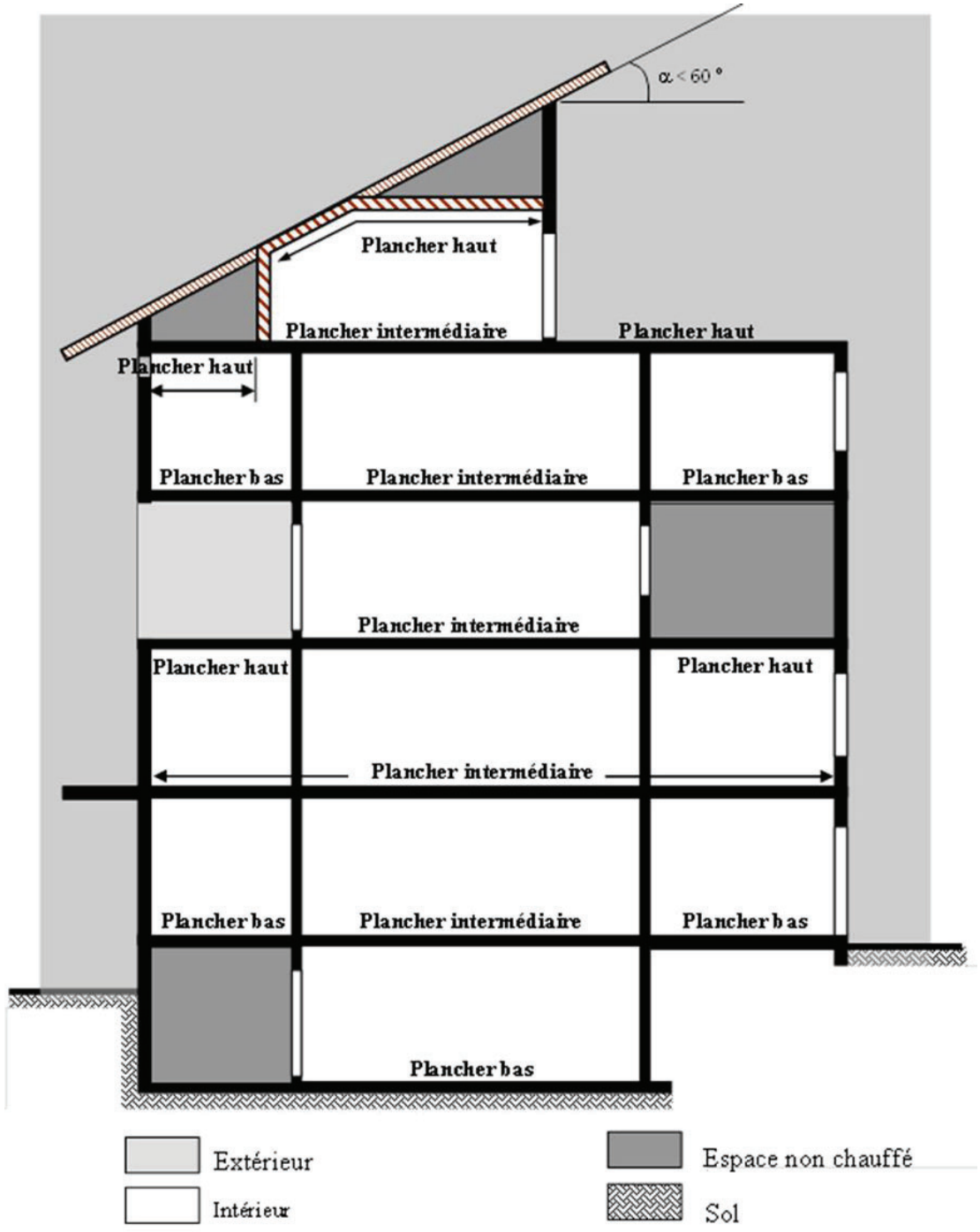


Figure 1 - planchers bas, intermédiaires et hauts

1.1.4.2 *Symboles*

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m^2.K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
R	Résistance thermique	m^2.K/W
A	Surface	m²
I, L	Longueur, largeur, linéaire	m
H	Coefficient de déperdition par transmission	W/K
T	Température	K
b	Coefficient de réduction de la température	-
D	Coefficient de déperdition	W/K
Q	Débit d'air entrant	m3/h
q	Débit d'air entrant par mètre carré de paroi	(m3/h)/m2
SREF	Surface de Référence	m²

1.1.4.3 *Indices*

e	Extérieur, équivalent
i	Intérieur
s	Superficiel
T, t	Total
D	Direct
S	Sol
U, u	Non chauffé
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
V	Par renouvellement d'air

1.2 Détermination des caractéristiques thermiques utiles

Les caractéristiques thermiques utiles, à utiliser comme données d'entrée au calcul des transferts de chaleur par transmission à travers l'enveloppe du bâtiment sont les coefficients U et S pour les parois opaques, U, S et TL pour les parois vitrées, Ψ et S pour les ponts thermiques des liaisons entre paroi

Elles sont déterminées d'après les fascicules parois vitrées, parois opaques et ponts thermiques des règles Th-bât.

Les conductivités thermiques utiles des matériaux et produits, nécessaires au calcul des coefficients de transmissions surfaciques et linéiques sont déterminées d'après le fascicule « Matériaux ».

En l'absence de caractéristiques thermiques déclarées dans le cadre du marquage CE, les coefficients de transmission thermique des parois fournis dans les documents d'avis technique sont réputés être des caractéristiques thermiques utiles.

1.3 Conventions

1.3.1 TEMPERATURE ET HUMIDITE DES MATERIAUX

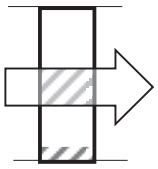
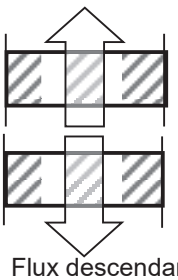
Les conductivités thermiques des matériaux et les caractéristiques thermiques des éléments de construction sont définies pour une température moyenne de 10°C.

Les conventions d'humidité des matériaux sont définies au fascicule « matériaux ».

1.3.2 RESISTANCES THERMIQUES SUPERFICIELLES

En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances thermiques superficielles, intérieures (Rsi) et extérieures (Rse), suivantes doivent être utilisées :

Tableau 1 - Valeurs par défaut des résistances thermiques superficielles

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert (1)	Rsi m2.K/W	Rse (2) m2.K/W	Rsi + Rse m2.K/W
Paroi verticale (Inclinaison > 60°) Flux horizontal 	0.13	0.04	0.17
Paroi Horizontale (Inclinaison < 60°) Flux ascendant 	0.10	0.04	0.14
Flux descendant (3)	0.17	0.04	0.21

(1) Un local est dit ouvert si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0.005 m2/m3. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.
(2) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, Rsi s'applique des deux côtés
(3) Dans le cas d'un plancher intégrant un système de chauffage, cette convention reste valable

Pour plus de précisions sur les résistances superficielles, se reporter au fascicule « Parois opaques ».

1.3.3 PAROIS DEPERDITIVES

1.3.3.1 ***Règles générales***

Les parois déperditives à prendre en compte pour les calculs sont les parois opaques, vitrées ou translucides séparant le volume chauffé[2] du bâtiment :

- De l'extérieur,
- Du sol
- Des locaux non chauffés

Ne sont pas prises en compte pour le calcul des déperditions (voir Figure 2) :

1- Les parois isolées (U ≤ 0,5 W/m².K) des locaux chauffés donnant sur des volumes intérieurs non chauffés (selon conventions § 1.3.3.2),Dans ce cas là les portes et les ponts thermiques de liaisons associés à ces parois peuvent être négligées.
2- Les parois isolées et les portes d'accès des cages d'ascenseurs situés en partie centrale donnant sur des locaux chauffés ou considérés comme tels, lorsque les parois lourdes de ces cages d'ascenseurs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé sont isolées y compris l'édicule, la fosse, les gaines ventilées. Dans le cas contraire, la cage d'ascenseur devra être prise en compte conformément au §1.3.3.2.
3- Les portes d'accès des locaux chauffés aux locaux commerciaux, aux locaux recevant du public

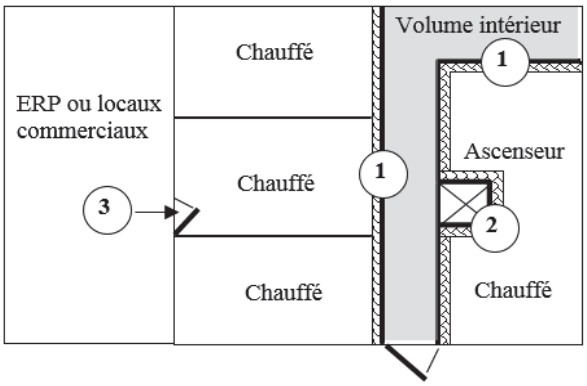


Figure 2 - parois non prises en compte dans le calcul de U_{bat}

[2] Le volume chauffé du bâtiment est composé :

- Des locaux ou volumes fermés chauffés à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation,
- Des volumes intérieurs assimilés chauffés selon les conventions du §3.3.2

1.3.3.2 *Volume intérieur*

Un « volume intérieur » est un local horizontal ou vertical sans émetteurs de chaleur, dépourvu de parois donnant sur l'extérieur à l'exception de celles ayant le même niveau d'isolation que les parois de même type du bâtiment (Les baies vitrées ne respectant pas cette exigence ne doivent pas dépasser 8 % de la surface totale des parois du « volume intérieur » donnant sur l'extérieur) et dont le linéaire donnant sur l'extérieur ou sur des locaux non chauffés (c + d) est inférieure à celui donnant sur des locaux du volume chauffé (a + b) (cf. Figure 3).

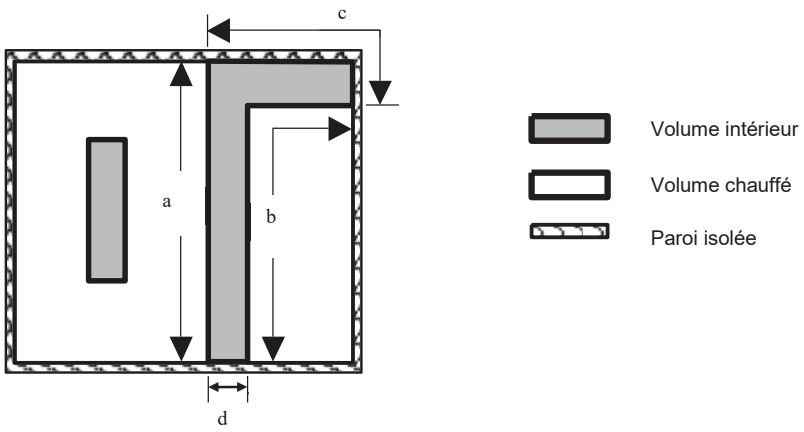


Figure 3 - Volumes intérieurs

Sont considérés comme chauffés les « volumes intérieurs » qui ne possèdent pas d'ouvertures permanentes sur l'extérieur (trappe, gaine de désenfumage) et dont les accès vers l'extérieur et vers des locaux non chauffés ou à occupation discontinue sont respectivement munis de sas et de dispositifs de fermeture automatique.

Sont considérés comme non chauffés les « volumes intérieurs » ne répondant pas au moins à une des conditions ci-dessus.

L'organigramme de la Figure 4 ci-après, explique la démarche à suivre pour la détermination des parois séparatrices à prendre en compte pour le calcul des déperditions par transmission.

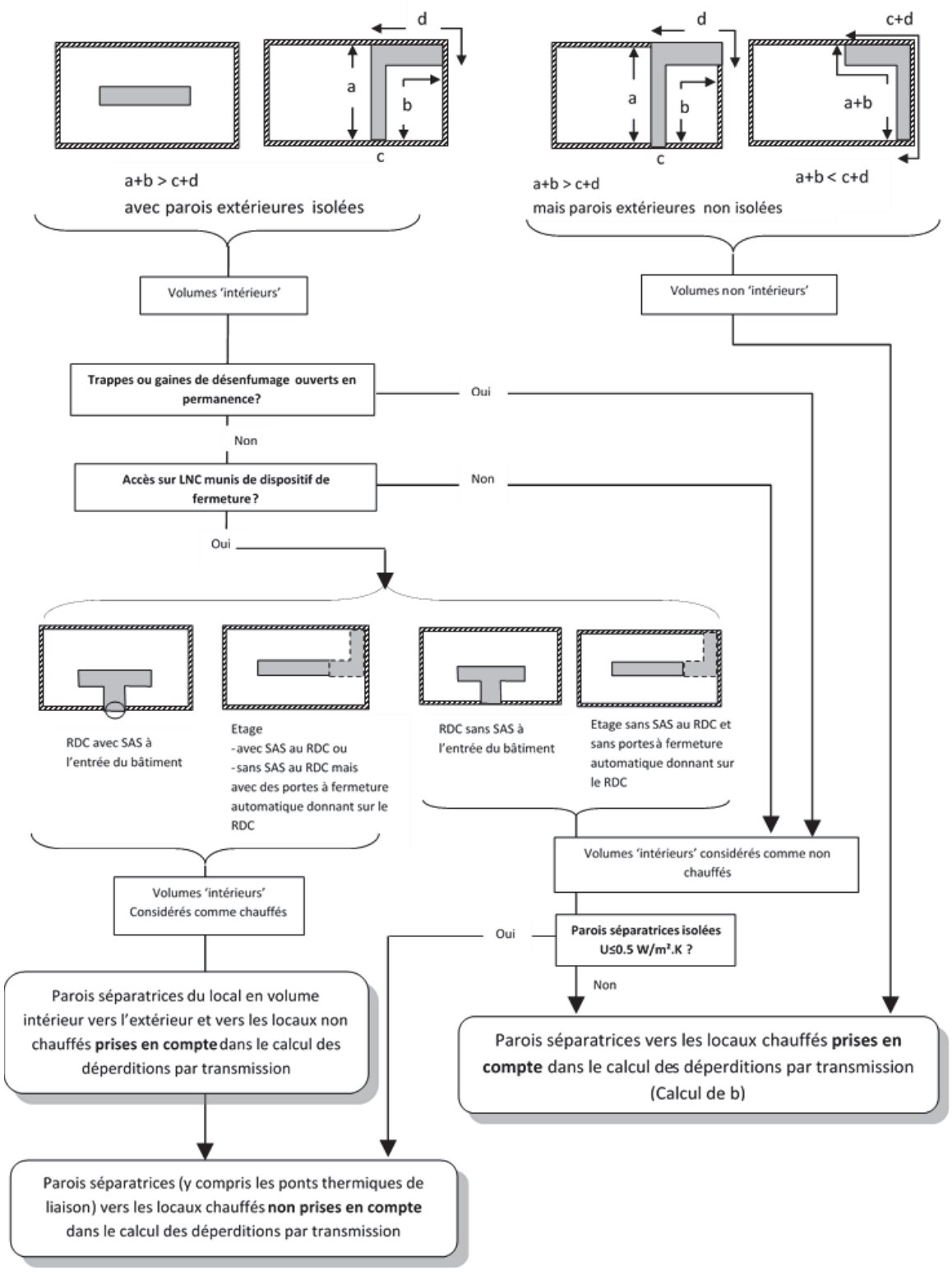


Figure 4 – Prise en compte des volumes intérieurs

1.3.4 PONTS THERMIQUES DES LIAISONS

Les coefficients de transmission linéiques des ponts thermiques des liaisons, inférieurs à 0.03 W/(m.K) peuvent être négligés. Cette convention ne s'applique pas aux ponts thermiques intégrés.

Les ponts thermiques des liaisons entre deux ou plusieurs parois dont l'une au moins donne sur l'extérieur ou est en contact avec le sol, sont considérés comme donnant sur l'extérieur.

1.3.5 DIMENSIONS

Seules les dimensions intérieures doivent être utilisées pour le calcul des déperditions :

Ne sont prises en compte que les parties des parois ayant deux faces, l'une intérieure et l'autre, soit extérieure soit dans un local non chauffé, soit en contact avec le sol, en regard l'une de l'autre.

En cas de décrochements ou des angles rentrants, ou des baies, les dimensions doivent être mesurées comme le montre la Figure 5 :

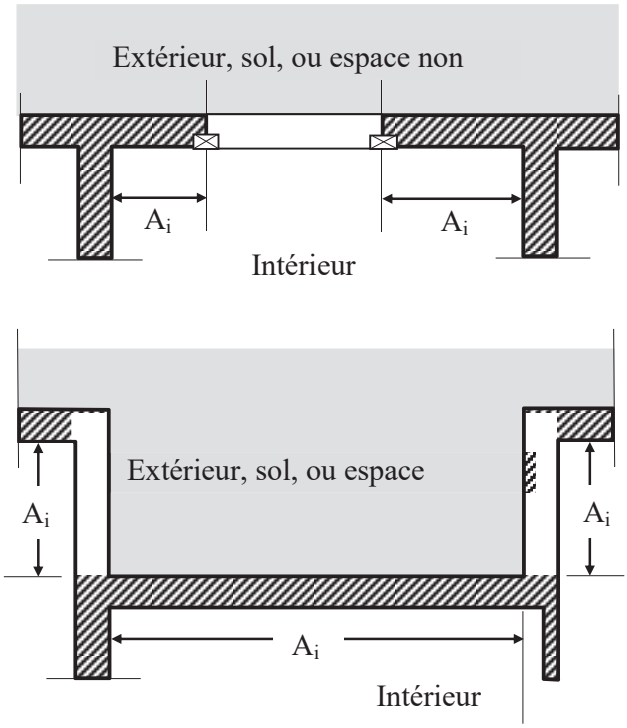


Figure 5 - Cas des décrochements, angles rentrants, baies

On ne tient pas compte des cloisons légères verticales qui n'altèrent pas la résistance thermique des parois de l'enveloppe (voir Figure 6).

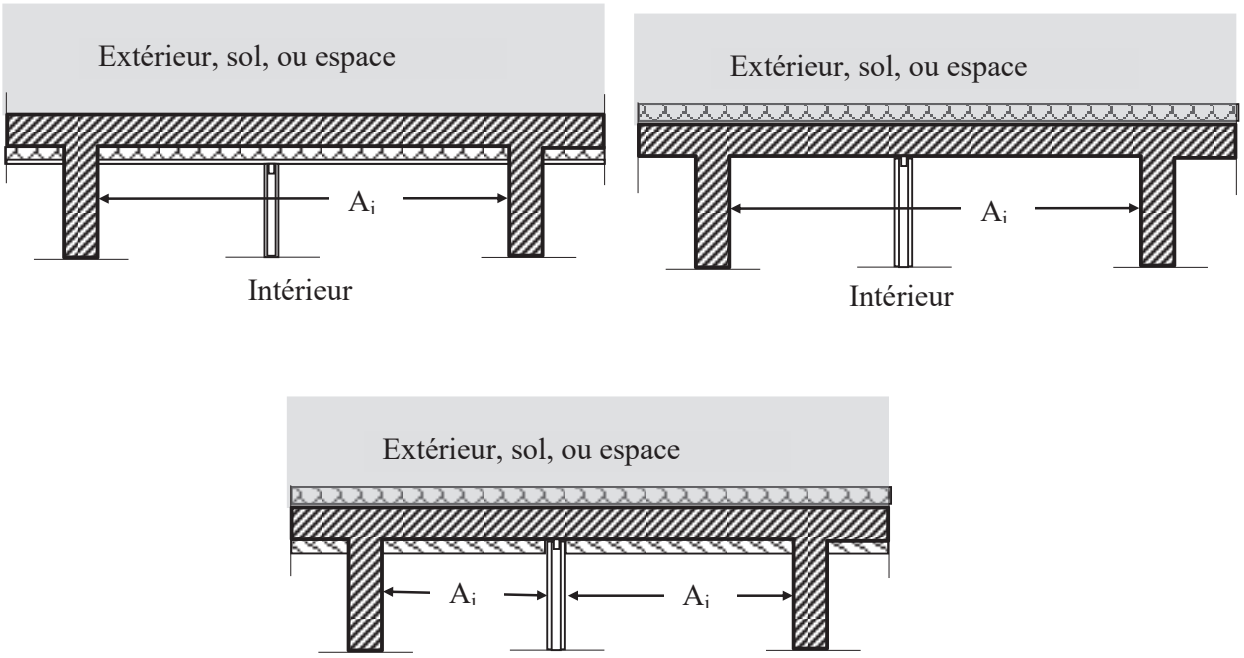


Figure 6 - Cas des cloisons légères verticales

En cas des planchers bas en liaison avec un refend et/ou une poutre à retombée les dimensions doivent être mesurées comme le montre la Figure 7 :

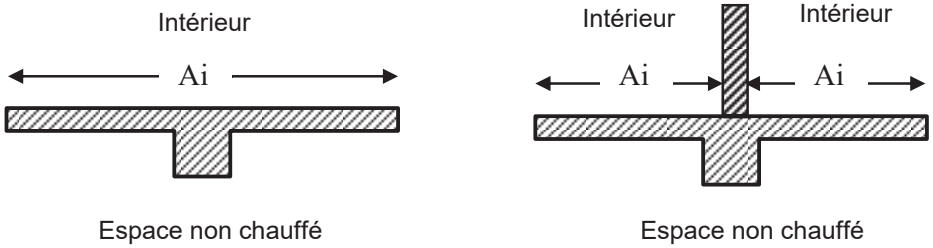
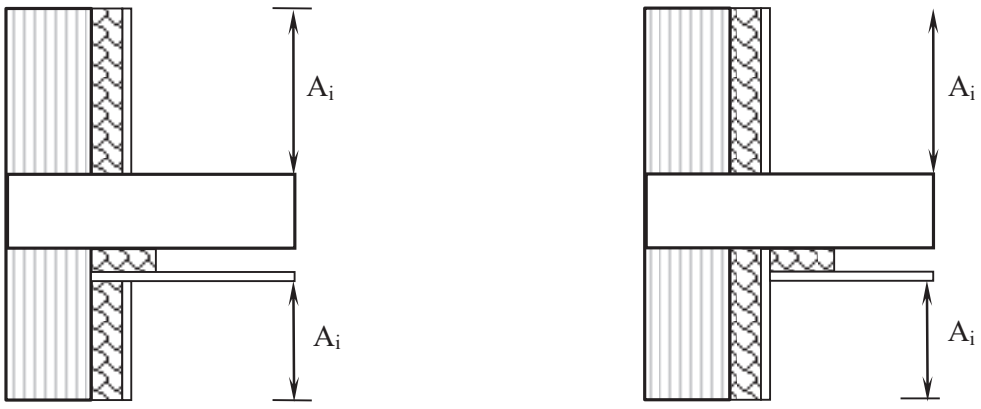


Figure 7 - Cas des planchers bas / refends

La dimension intérieure d'une paroi verticale doit inclure les épaisseurs des aménagements intérieurs (faux plafond, plancher technique, ..), si la résistance thermique de la paroi est conservée dans la partie aménagée. Sinon la dimension intérieure doit s'arrêter au niveau des aménagements.



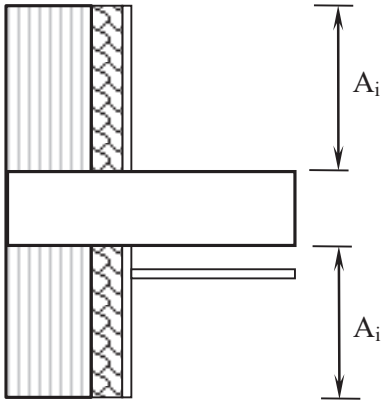
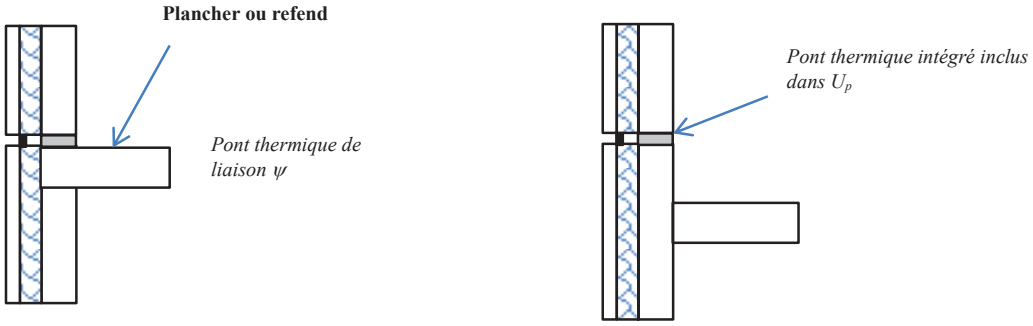


Figure 8 - Exemples de détermination de la dimension intérieure pour des planchers intermédiaires avec faux plafond

1.3.6 CONVENTION RELATIVE AU CAS DES PANNEAUX SANDWICHS LOURDS

Les panneaux sandwichs lourds sont des panneaux de façade à voile béton.

Le pont thermique situé au niveau d'un joint vertical ou horizontal entre panneaux doit être comptabilisée comme un pont thermique de liaison lorsqu'il est situé à la jonction avec une paroi (mur ou refend). Dans le cas contraire il doit être considéré comme un pont thermique intégré comptabilisé dans le coefficient de transmission surfacique Up de la paroi. La figure ci-dessous illustre cette convention.



1.4 **Indicateurs complémentaires**

1.4.1 RATION DE TRANSMISSION THERMIQUE LINEIQUE MOYEN GLOBAL

Le ratio de transmission thermique linéique moyen global des ponts thermiques, nommé Ratio Ψ, traduit les déperditions par transmission, à travers tous les ponts thermiques des liaisons. Il s'exprime en Watt par m² de surface SRT et par degré Kelvin d'écart de température. Le Ratio Ψ est calculé d'après la formule ci-après et doit être exprimé avec deux chiffres significatifs :

$$Ratio_{\Psi} = \sum \frac{\Psi \times b \times l}{SREF} \qquad (1)$$

Avec

Ψ Le coefficient de transmission linéique du pont thermique de liaison entre au moins deux parois dont l'une au moins est en contact avec l'extérieur ou avec une ambiance non chauffée. Il est déterminé d'après le fascicule ponts thermiques des présentes règles et s'exprime en W/(m.K).

l le linéaire du pont thermique de liaison correspondant, en m.

b Le coefficient de réduction des déperditions caractérisant l'ambiance non chauffée en contact avec le pont thermique.

S_{Ref} Surface de référence du bâtiment, telle que définie au X du chapitre I de l'annexe de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation.

Pour un pont thermique lié à au moins une paroi en contact avec l'extérieur ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre b=1. Pour les autres cas, b doit être déterminé selon la partie 0 du présent fascicule généralité.

1.4.2 COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE Ψ_9

Ψ_9 est le coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé.

Il se calcule d'après la formule ci-après et doit être exprimé avec deux chiffres significatifs :

$$\Psi_9 = \frac{\sum \Psi \times b \times l}{\sum l} \qquad (2)$$

en W/m.K

Avec

Ψ le coefficient de transmission linéique du pont thermique de liaison entre un plancher intermédiaire et un mur. Il est déterminé d'après le fascicule ponts thermiques des présentes règles et s'exprime en W/(m.K).

b Le coefficient de réduction des déperditions caractérisant l'ambiance non chauffée en contact avec le pont thermique.

l le linéaire du pont thermique de liaison correspondant, en m.

Pour un pont thermique lié à au moins une paroi en contact avec l'extérieur ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre b=1. Pour les autres cas, b doit être déterminé selon la partie 1.5 du présent fascicule généralité.

1.4.3 U_{BAT}

Le coefficient $U_{bât}$ représente la valeur moyenne de la déperdition par transmission surfacique exprimée en W/(m².K). Il se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{bât} = \frac{\sum_i A_i U_i (b_i) + \sum_j l_j \psi_j (b_j) + \sum \chi_k (b_k)}{\sum A_i} \qquad (3)$$

Où

Ai est l'aire intérieure de la paroi déperditive i du bâtiment, en m^2. (Les dimensions des fenêtres et des portes doivent être prises égales à celles de l'ouverture dans les parois).

Ui est le coefficient de transmission thermique de la paroi déperditive i du bâtiment déterminé selon les fascicules « Parois opaques » et « parois vitrées », il s'exprime en $W/(m^2.K)$.

b est un coefficient de réduction des déperditions, respectivement à travers les composants i, j et k .

Pour une paroi en contact avec le sol ou donnant sur l'extérieur, sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé, prendre b = 1. Pour les autres parois, b doit être déterminé selon §1.5.

l_j est le linéaire du pont thermique de la liaison j, en m.

Ψ_j est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique de la liaison j, déterminé selon le fascicule « Ponts thermiques », en W/(m.K) à l'exception des ponts thermiques intermédiaires des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé lorsque ceux-ci sont déjà pris en compte dans le calcul de U_e. En effet, ces derniers doivent être pris en compte dans le calcul de Ue (exemple : liaisons entre refends ou poutres avec le plancher bas).

χ_k est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique tridimensionnel k, calculé selon le fascicule « Ponts thermiques », en W/K à l'exception des ponts thermiques ponctuels induits par les poteaux dans le cas des plancher bas en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous sol non chauffé lorsque ceux-ci sont déjà pris en compte dans le calcul de U_e.

Les ponts thermiques intégrés (ossatures filantes, fixations ponctuelles, etc…), doivent être intégrés dans le coefficient surfacique intrinsèque Up de la paroi comme décrit dans les fascicules "parois opaques" et « parois vitrées ».

1.5 Coefficient de réduction de température

Le coefficient de réduction des déperditions permet de tenir compte de l'écart de température entre un local non chauffé et l'extérieur, et ceci lors du calcul des déperditions thermiques par transmission.

1.5.1 CALCUL

Le coefficient b relatif à un local non chauffé quelconque, se calcule par la formule suivante :

$$b = \frac{D_{ue}}{D_{ue} + D_{iu}} \qquad (4)$$

Où

D_{ue} est le coefficient de déperdition du local non chauffé vers l'extérieur, en W/K.

D_{iu} est le coefficient de déperdition du volume chauffé vers le local non chauffé, en W/K.

D_{ue} et D_{iu} tiennent compte des déperditions par transmission et par renouvellement d'air, ils se calculent par :

$$D_{ue} = H_{ue} + D_{V,\,ue} \quad \text{et} \quad Diu = H_{iu} + D_{V,\,iu} \qquad (5)$$

Avec

$$D_{V,\,ue} = 0{,}33\ Q_{ue} \quad \text{et} \quad D_{V,\,iu} = 0{,}33\ Q_{iu} \qquad (6)$$

Q_{ue} est le débit d'air entrant dans le local non chauffé en provenance de l'extérieur, en m^3/h.

Q_{iu} est le débit d'air entrant dans le local non chauffé en provenance du volume chauffé. Ce débit est généralement nul, Qiu = 0.0. m^3/h.

$D_{V,\,ue}$ peut également s'écrire sous la forme : $D_{V,\,ue} = U_{V,\,ue}\ A_{ue}$ (7)

Où

A_{ue} est la surface totale des composants séparant le local non chauffé de l'extérieur ou d'un autre local non chauffé, en m2.

$U_{V,\,ue}$ est l'équivalent d'un coefficient surfacique de la paroi située entre le local non chauffé et l'extérieur ou un autre local non chauffé, en W/(m2.K). Il représente les déperditions par renouvellement d'air du local non chauffé, ramenées à l'unité de surface de la paroi.

$U_{V,\,ue} = 0.34\ q_{ue}$

Où

q_{ue} est le débit d'air par mètre carré de paroi, exprimé en $(m^3/h)/m^2$

Note : Le fascicule « parois opaques » donne des méthodes approximatives pour la prise en compte des déperditions à travers certains locaux non chauffés particuliers où les espaces d'air sont représentés comme une couche d'air thermiquement homogène de résistance thermique additionnelle R_u donnée ou exprimée par des formules simples.

1.5.2 VALEURS PAR DEFAUT

1.5.2.1 ***Coefficient b***

Le coefficient b doit être déterminé de préférence d'après la formule 4. Cependant et en absence de toute justification particulière, des valeurs par défaut sont données aux tableaux 2 à 5 et cela en fonction du rapport des surfaces A_{iu}/A_{ue} et du « coefficient surfacique équivalent » $U_{V, ue}$.

	Parois séparant le local non chauffé de l'extérieur Aue	Parois séparant l'intérieur du local non chauffé Aiu
Tableau 2	Non isolées	Isolées
Tableau 3		Non
Tableau 4	Isolées	Non
Tableau 5		Isolées

Dans les tableaux 2 à 5 : La surface A_{ue} des vérandas doit être considérée comme non isolée

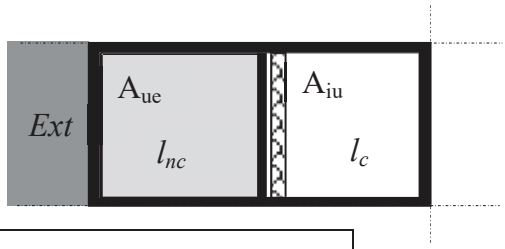
l_c désigne un local chauffé

l_{nc} désigne un local non chauffé

Tableau 2

A_{iu} : isolée

A_{ue} : non isolée

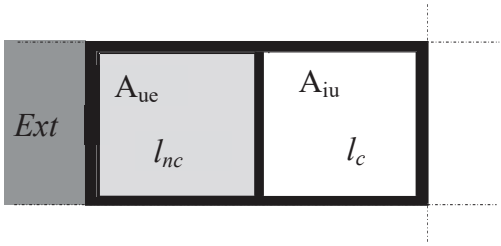


A_{iu}/A_{ue}	$U_{V, ue}$ W/(m².K)					
	0,0	0,3	1,5	3,0	7,00	9,00
≤ 0,25	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00
0,25 < ≤ 0,50	0,95	0,95	0,95	0,95	1,00	1,00
0,50 < ≤ 0,75	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	1,00
0,75 < ≤ 1,00	0,85	0,90	0,90	0,95	0,95	0,95
1,00 < ≤ 1,25	0,85	0,90	0,90	0,90	0,95	0,95
1,25 < ≤ 2,00	0,80	0,80	0,85	0,90	0,90	0,95
2,00 < ≤ 2,50	0,75	0,80	0,80	0,85	0,90	0,90
2,50 < ≤ 3,00	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3,00 < ≤ 3,50	0,65	0,75	0,75	0,80	0,85	0,90
3,50 < ≤ 4,00	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
4,00 < ≤ 6,00	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80	0,85
6,00 < ≤ 8,00	0,45	0,55	0,60	0,65	0,75	0,80
8,00 < ≤ 10,0	0,40	0,50	0,50	0,60	0,70	0,75
10,0 < ≤ 25,0	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
25,0 < ≤ 50,0	0,20	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50
50,0 <	0,10	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30

Tableau 3

A_{iu} : non isolée

A_{ue} : non isolée



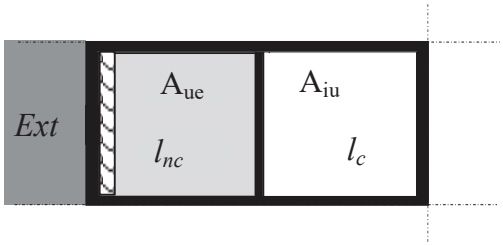
A_{iu}/A_{ue}	$U_{V, ue}$ W/(m².K)					
	0,0	0,3	1,5	3,0	7,00	9,00
≤ 0,25	0,80	0,85	0,85	0,90	0,95	0,95
0,25 < ≤ 0,50	0,65	0,75	0,75	0,80	0,85	0,90
0,50 < ≤ 0,75	0,55	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
0,75 < ≤ 1,00	0,50	0,55	0,60	0,70	0,75	0,80
1,00 < ≤ 1,25	0,45	0,50	0,55	0,65	0,70	0,80
1,25 < ≤ 2,00	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70
2,00 < ≤ 2,50	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65
2,50 < ≤ 3,00	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,60
3,00 < ≤ 3,50	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,55
3,50 < ≤ 4,00	0,20	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50
4,00 < ≤ 6,00	0,15	0,20	0,20	0,25	0,35	0,40
6,00 < ≤ 8,00	0,10	0,15	0,15	0,20	0,30	0,35
8,00 < ≤ 10,0	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
10,0 < ≤ 25,0	0,05	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25
25,0 < ≤ 50,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10	0,15
50,0 <	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05

Nota : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

Tableau 4

A_{iu} : non isolée

A_{ue} : isolée

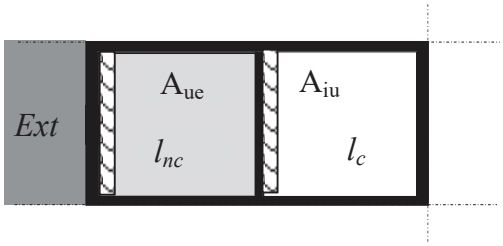


A_{iu}/A_{ue}	$U_{V, ue}$ W/(m².K)					
	0,0	0,3	1,5	3,0	7,00	9,00
≤ 0,25	0,35	0,50	0,60	0,65	0,75	0,85
0,25 < ≤ 0,50	0,20	0,35	0,45	0,50	0,60	0,70
0,50 < ≤ 0,75	0,15	0,25	0,35	0,40	0,50	0,65
0,75 < ≤ 1,00	0,15	0,20	0,25	0,35	0,40	0,55
1,00 < ≤ 1,25	0,10	0,15	0,25	0,30	0,35	0,50
1,25 < ≤ 2,00	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,40
2,00 < ≤ 2,50	0,05	0,10	0,15	0,15	0,20	0,35
2,50 < ≤ 3,00	0,05	0,10	0,10	0,15	0,20	0,30
3,00 < ≤ 3,50	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,25
3,50 < ≤ 4,00	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,25
4,00 < ≤ 6,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,20
6,00 < ≤ 8,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,15
8,00 < ≤ 10,0	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
10,0 < ≤ 25,0	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10
25,0 < ≤ 50,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
50,0 <	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 5

A_{iu} : isolée

A_{ue} : isolée



A_{iu}/A_{ue}	$U_{V, ue}$ W/(m².K)					
	0,0	0,3	1,5	3,0	7,00	9,00
≤ 0,25	0,80	0,90	0,90	0,95	0,95	0,95
0,25 < ≤ 0,50	0,65	0,80	0,85	0,85	0,90	0,95
0,50 < ≤ 0,75	0,55	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
0,75 < ≤ 1,00	0,50	0,65	0,70	0,75	0,85	0,90
1,00 < ≤ 1,25	0,45	0,60	0,65	0,75	0,80	0,90
1,25 < ≤ 2,00	0,35	0,45	0,55	0,65	0,70	0,80
2,00 < ≤ 2,50	0,30	0,40	0,50	0,55	0,65	0,80
2,50 < ≤ 3,00	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	0,75
3,00 < ≤ 3,50	0,20	0,35	0,40	0,50	0,60	0,70
3,50 < ≤ 4,00	0,20	0,30	0,40	0,45	0,55	0,70
4,00 < ≤ 6,00	0,15	0,25	0,30	0,35	0,45	0,60
6,00 < ≤ 8,00	0,10	0,20	0,25	0,30	0,40	0,55
8,00 < ≤ 10,0	0,10	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45
10,0 < ≤ 25,0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,40
25,0 < ≤ 50,0	0,05	0,05	0,10	0,10	0,15	0,25
50,0 <	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10

Nota : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

1.5.2.2 *Coefficient $U_{v, ue}$*

En absence d'une valeur de coefficient Uv, ue, calculée selon le §1.5.1, les valeurs par défauts ci-dessous, données par type de local non chauffé, doivent être utilisées.

Tableau 6 : valeurs par défaut de $U_{v, ue}$

Locaux non chauffés types	$U_{V, ue}$ W/(m.K)
Maison individuelle	
Garage	3
Cellier	3
Véranda	3
Comble	
– fortement ventilé Ao /Ac > 0,003	9
– faiblement ventilé 0,0003 < Ao /Ac < 0,003	3
– très faiblement ventilé 0,0003 > Ao /Ac	0,3
Logement collectif	
Circulations communes	
– sans ouverture directe sur l'extérieur	0,0
– avec ouverture directe sur l'extérieur	0,3
– avec bouche ou gaine de désenfumage, ouverte en permanence	3
– halls d'entrée	3(1) ou 0,3 (2)
– garage privé collectif	3
Autres dépendances	3
Comble	
– fortement ventilé Ao /Ac > 0,003	9
– faiblement ventilé 0,0003 < Ao /Ac < 0,003	3
– très faiblement ventilé 0,0003 > Ao /Ac	0,3
Tertiaire	
Locaux fortement ventilés (parking public, hall de gare, etc.)	9
Parking privé	3
Autres dépendances	3
Circulations communes	
– sans ouverture directe sur l'extérieur	0,0
– avec ouverture directe sur l'extérieur	0,3
– avec bouche ou gaine de désenfumage, ouverte en permanence	3
– halls d'entrée	3(1) ou 0,3(2)

Bâtiments adjacents chauffés par intermittence autres que d'habitation (b = 0,2)	–
1. Portes d'accès sans dispositif de fermeture automatique 2. Portes d'accès avec dispositif de fermeture automatique	

Où

A_o est la surface totale des orifices de ventilation du comble, en m²,

A_c est la surface du comble, en m².

2. FASCICULE « MATERIAUX »

2.1 Introduction

Ce fascicule permet la détermination des valeurs thermiques utiles des matériaux d'application générale dans le bâtiment à utiliser dans les calculs réglementaires pour la détermination des per formances énergétiques du bâtiment.

La détermination de la valeur thermique utile est faite en fonction de la valeur thermique déclarée. À défaut de pouvoir justifier une valeur selon les modalités ci-dessus, les valeurs thermiques utiles sont prises égales aux valeurs par défaut données dans le présent chapitre en fonction de leur masse volumique sèche :

– conductivité thermique utile ;

– capacité thermique massique ;

– facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

Pour certaines familles de matériaux, plusieurs valeurs de conductivités thermiques utiles sont données en fonction de la masse volumique du matériau. Faute de connaître cette dernière, on adoptera la plus élevée des valeurs de conductivités thermiques utiles indiquées pour la famille considérée.

Les facteurs de résistance à la vapeur d'eau sont donnés en tant que valeurs en coupelle sèche et coupelle humide (cf. norme NF EN ISO 12572).

Nota : les valeurs et méthodes de détermination correspondent aux produits utilisés dans l'enveloppe des bâtiments et non aux équipements de ces bâtiments.

2.1.1 REFERENCESNORMATIVES

Les versions des normes suivantes en vigueur à la date de publication de ce document s'appliquent.

Normes d'essais

NF EN 12667	Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment. Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique. Produits de haute et moyenne résistance thermique.
NF EN 12664	Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment – détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique – produits secs et humides de moyenne et basse résistance thermique.
NF EN ISO 12572	Performances thermiques des matériaux et produits pour le bâtiment. Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau - Méthode de la coupelle.
NF EN ISO 8990	Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire – Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée.

Normes de calcul

NF EN ISO 10077-1	Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.
NF EN ISO 10077-2	Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.
NF EN ISO 10456	Matériaux et produits pour le bâtiment – Propriétés hygrothermiques – Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.

Autres normes

NF EN ISO 7345	Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions.

NF EN ISO 9346 Performance hygrothermique des bâtiments et des matériaux pour le bâtiment– Grandeurs physiques pour le transfert de masse – Vocabulaire.

2.1.2 TERMES ET DEFINITIONS, SYMBOLES ET UNITES

2.1.2.1 ***Symboles et unités***

Masse volumique sèche ρ (en kg/m3) : quotient de la masse d'un matériau apparente, à l'état sec (1)[3] conventionnel, par son volume.

Conductivité thermique λ. (en W/(m.K)) : flux de chaleur, par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un degré entre les deux faces de ce matériau.

Capacité thermique massique Cp (en J/(kg.K)) : quantité de chaleur nécessaire pour augmenter la température de un degré un kilogramme d'un matériau.

Facteur de la résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ : rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur celle du matériau.

2.1.2.2 ***Définitions***

Caractéristique thermique utile : caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, une fois incorporés dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps et correspondre aux conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc...)

Caractéristique thermique déclarée : caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Document d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration ne sont pas représentatives de celles rencontrées dans le bâtiment.

Valeur thermique par défaut : valeur forfaitaire à utiliser comme caractéristique thermique utile, en absence de valeurs déclarées et sans justification particulière.

Avis Technique et Document Technique d'Application : on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application, tout avis formulé conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Evaluation Technique Européen (ETE) : appréciation technique favorable de l'aptitude d'un produit à l'usage prévu, fondée sur la satisfaction des exigences essentielles prévues pour les ouvrages dans lesquels le produit doit être utilisé (directive 89/106/CEE, ar ticle 8). Il est délivré par un Organisme d'Evaluation Technique (OET), membre de l'EOTA (European Organisation for Technical Approvals), habilité et désigné par son État membre.

Certification : on entend par certification toute activité par laquelle un organisme tierce partie accrédité COFRAC, ou un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de certification, atteste qu'un produit, un service, ou une combinaison de produits et

[3] Sauf spécification particulière, l'état sec est défini conventionnellement comme l'état du matériau séché à 70 °C ± 5 °C avec de l'air pris dans une ambiance à 23 °C ± 2 °C et 50 ± 5 % d'humidité relative.

de services est conforme à des caractéristiques décrites dans un référentiel de certification reconnu par tous les acteurs et rendu public. La certification est régie par les articles R-433-1 à R 433-2 et L 433-3 à L 433-11 du code de la consommation.

2.1.3 CARACTERISTIQUES THERMIQUES

2.1.3.1 ***Cas général***

Les caractéristiques thermiques utiles (λu ou Ru) des matériaux et produits de construction, à utiliser pour le calcul des caractéristiques thermiques des parois et ponts thermiques des bâtiments, sont déterminées en fonction des caractéristiques thermiques déclarées (λd, Rd) :

$$\lambda_u = \lambda_d \times (F_T \times F_m \times F_R) \quad \text{et} \quad R_u = R_d / (F_T \times F_m \times F_R) ;$$

Les caractéristiques thermiques figurant dans des documents d'Avis Techniques ou dans les Documents Techniques d'Application sont considérées comme des valeurs utiles.

À défaut de pouvoir justifier une valeur selon les modalités ci-dessus, les caractéristiques thermiques utiles (λu ou Ru) sont prises égales aux valeurs par défaut données dans les règles Th-Bât.

FT, Fm, et FR sont des facteurs permettant de convertir les valeurs déclarées, certifiées ou tabulées en valeurs utiles. Ils sont définis ci-dessous :

- FT, facteur de conversion lié à la température moyenne du matériau en œuvre. Pour les applications courantes, FT peut être pris égal à 1. Pour les applications particulières où la température moyenne du matériau en œuvre est sensiblement différente de 10 °C, FT doit être déterminé conformément à la norme NF EN ISO 10456 (2)4 ;
- – Fm, facteur de conversion lié à la teneur en humidité moyenne du matériau en œuvre. Pour les applications courantes, Fm peut être pris égal à 1. Pour les applications particulières ou la teneur d'humidité du matériau est connue être sensiblement différente de la valeur conventionnelle donnée dans la norme « produit » correspondante, Fm doit être déterminé conformément à la norme NF EN ISO 10456. Les valeurs thermiques données dans les documents d'Avis Technique ou dans les Documents Techniques d'Application ou dans les certificats associés à la marque « NF » tiennent compte de l'effet de l'humidité en œuvre du matériau (prendre Fm = 1) ;
- – FR, coefficient de sécurité qui tient compte de la représentativité de la valeur déclarée, de l'ensemble de la production à l'usine. FR est déterminé d'après le Tableau 7 selon l'origine de la valeur thermique déclarée :

Tableau 7 - Coefficient de sécurité F_R selon l'origine de la valeur déclarée

F_R	
Marquage « CE » de système 1+(*) ou autres systèmes équivalents	Marquage « CE » autres systèmes(*)
1	1,15
(*) On entend par système n de marquage « CE », le niveau n de l'évaluation et de la vérification de la constance de la performance thermique d'un produit.	

[4] À défaut de calculs conformément à la norme citée, en France métropolitaine, le secteur des bâtiments à usages d'habitation et bâtiments non résidentiels est considéré correspondre aux applications courantes.

REMARQUE 1

Les conditions conventionnelles de température et d'humidité qui ont servi à la détermination des valeurs déclarées et/ou certifiées sont données dans les normes « produits » correspondantes.

Les conditions conventionnelles de température et d'humidité qui ont servi à la détermination des valeurs tabulées dans le présent fascicule sont les suivantes :

– convention de température, les conductivités thermiques des matériaux sont définies pour une température moyenne de 10 °C ;

– convention d'humidité, le taux d'humidité conventionnel pour chaque matériau est défini selon la norme NF EN ISO 10456.

Pour les matériaux dont l'utilisation les met à l'abri de la pluie et de la condensation, le taux d'humidité conventionnel, sauf contre-indication en cas particuliers, est le taux d'humidité d'équilibre de ce matériau dans une ambiance à 23 °C et 50 % d'humidité relative. Ce taux d'humidité conventionnel est déterminé par séchage du matériau stabilisé à 23 °C et 50 % d'humidité relative jusqu'à masse constante. Le séchage du matériau est réalisé en étuve régulée à 70 °C ± 5 °C avec de l'air pris dans une ambiance à 23 °C ± 2 °C et 50 % ± 5 % d'humidité rela- tive. Les valeurs tabulées de la conductivité thermique tiennent également compte des dispersions de fabrication.

Il découle des conventions précédentes que les valeurs tabulées de la conductivité thermique :

– des matériaux non hygroscopiques ou ne contenant pas d'eau de fabrication sont les valeurs de leur conductivité à l'état sec, à 10 °C ;

– des matériaux hygroscopiques ou conservant de l'eau de fabrication résultent de l'application aux valeurs de leur conductivité à l'état sec, à 10 °C, d'un coefficient correcteur fixé par produit ;

– des matériaux contenant des gaz occlus autres que l'air sont des valeurs de leur conductivité thermique à l'état sec à 10 °C, après vieillissement fixé pour chaque produit.

REMARQUE 2

Les valeurs tabulées données dans le présent document priment toujours sur celles figurant dans des procès- verbaux de mesure ou dans des normes (*).

Pour ce qui concerne les procès-verbaux de mesure, il est à observer que :

– Les résultats de plusieurs mesures faites sur un même matériau présentent une dispersion sur les valeurs obtenues ;

– Pour évaluer la dispersion des caractéristiques physiques d'un matériau, il est nécessaire d'effectuer plusieurs mesures sur des échantillons choisis de façon aléatoire dans le temps et dans l'espace (position de l'échantillon vis-à-vis de l'ensemble d'une production à un jour donné) ;

– Il peut être difficile de déterminer les caractéristiques d'un matériau ou d'une paroi dans les conditions d'humidité utile, le résultat de mesure doit alors être corrigé en appliquant un facteur de conversion ;

– Les caractéristiques thermiques de certains matériaux peuvent varier dans le temps, du fait par exemple de la diffusion d'un gaz occlus dans les cellules, il est alors nécessaire d'effectuer des essais de vieillissement appropriés.

Par ailleurs, une étude comparative a été menée au niveau européen et les résultats de mesures f ont montré des dispersions de ± 5 % sur les valeurs obtenues.

Pour ces diverses raisons, les valeurs tabulées données dans le présent document ont été fixées en s'appuyant sur de nombreuses mesures et en examinant avec soin comment celles-ci ont été faites et sur quels échantillons.

Des différences entre les valeurs données dans le présent document et celles figurant dans certaines normes peuvent s'expliquer du fait que ces dernières ne visent pas exclusivement l'emploi des matériaux dans des parois de bâtiment ; les conditions, notamment de température et d'humidité, auxquelles correspondent les caractéristiques thermiques figurant dans les normes, peuvent être différentes de celles auxquelles correspondent les valeurs données dans le présent document.

(*) Il s'agit dans ce cas de valeurs non certifiées par le CSTB, ou par un organisme mandaté par l'AFNOR.

2.1.3.2 *Produits réfléchissants opaques*

Les performances thermiques intrinsèques des produits réfléchissants opaques sont données soit dans un document d'Evaluation Technique Européen, soit dans un Avis Technique ou équivalent, ou si un tel avis ou évaluation n'existe pas, par des valeurs par défaut données dans le fascicule paroi opaque.

2.1.3.3 *Cas particulier du sol*

La conductivité thermique du sol doit être prise égale à :

– la valeur réelle du site lorsqu'elle est connue. Cette valeur doit être moyennée sur une profondeur égale à la largeur du bâtiment en tenant compte de la teneur normale en eau ;
– la valeur correspondante tirée du Tableau 8 si la valeur réelle n'est pas connue ;
– 2,0 W/(m.K) en absence de toute autre information.

Tableau 8 - Conductivité thermique λ

Description	Conductivité thermique λ
Argile ou limon	1,5
Sable ou gravier	2,0
Roche homogène	3,5

2.1.4 MAÇONNERIES

Pour la détermination des caractéristiques thermiques utiles des éléments de parois constitués à partir des blocs de maçonnerie, de béton cellulaire, briques de terre cuite, entrevous, etc., se reporter au « FASCICULE « PAROIS OPAQUES »».

2.2 Valeurs par défaut

2.2.1 PIERRES

Les conductivités thermiques données dans ce paragraphe sont en fait des conductivités thermiques équivalentes tenant compte des joints.

2.2.1.1 *Roches plutoniques et métamorphiques*

Matériaux ou application	Masse volumique sèche (ρ) en kg/m³	Conductivité thermique utile (λ) en W/(m.K)	Capacité thermique massique (C_p) en J/(kg.K)	Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (μ)	
				Sec	Humide
Gneiss, porphyres	2 300 ≤ ρ ≤ 2 900	3,5	1 000	10 000	10 000
Granites	2 500 ≤ ρ ≤ 2 700	2,8	1 000	10 000	10 000
Schistes, ardoises	2 000 ≤ ρ ≤ 2 800	2,2 (*)	1 000	1 000	800

* Il s'agit de la conductivité correspondant à l'utilisation de ces matériaux en murs, c'est-à-dire pour un flux de chaleur parallèle aux strates.

2.2.1.2 *Roches volcaniques*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Basaltes	2 700 ≤ ρ ≤ 3 000	1,6	1 000	10 000	10 000
Trachytes, andésites	2 000 ≤ ρ ≤ 2 700	1,1	1 000	20	15
Pierres naturelles poreuses (ex.: laves)	ρ ≤ 1 600	0,55	1 000	20	15

2.2.1.3 *Pierres calcaires*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Marbres	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	3,5	1 000	10 000	10 000
Pierres froides ou extra-dures	2 200 ≤ ρ ≤ 2 590	2,3	1 000	250	200
Pierres dures	2 000 ≤ ρ ≤ 2 190	1,7	1 000	200	150
Pierres fermes, demi-fermes	1 800 ≤ ρ ≤ 1 990	1,4	1 000	50	40
Pierres tendres n° 2 et 3	1 600 ≤ ρ ≤ 1 790	1,1	1 000	40	25
Pierres très tendres	ρ ≤ 1 590	0,85	1 000	30	20

2.2.1.4 *Grès*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Grès quartzeux	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	2,6	1 000	40	30
Grès (silice)	2 200 ≤ ρ ≤ 2 590	2,3	1 000	40	30
Grès calcarifères	2 000 ≤ ρ ≤ 2 700	1,9	1 000	30	20

2.2.1.5 *Silex, meulières et ponces*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Silex	2 600 ≤ ρ ≤ 2 800	2,6	1 000	10 000	10 000
Meulières	1 900 ≤ ρ ≤ 2 500	1,8	1 000	50	40
	1 300 ≤ ρ < 1 900	0,9	1 000	30	20
Ponces naturelles	ρ ≤ 400	0,12	1 000	8	6

2.2.2 BETONS

2.2.2.1 *Bétons de granulats courants siliceux, silico-calcaires et calcaires*

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-540.

2.2.2.1.1 *Béton plein*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	2 300 < ρ ≤ 2 600	2,00	1 000	130	80
	2 000 < ρ ≤ 2 300	1,65	1 000	120	70

2.2.2.1.2 *Béton caverneux*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 800 < ρ ≤ 2 000	1,35	1 000	100	60
	1600 ≤ ρ ≤ 1 800	1,15	1 000	100	60

2.2.2.1.3 *Béton plein armé*

Valeurs à prendre en compte lorsque le béton plein est armé avec un pourcentage en volume d'acier et dont au moins la moitié est disposée parallèlement au flux thermique.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Avec 1 < % d'acier ≤ 2	2 300 < ρ ≤ 2 400	2,3	1 000	130	80
Avec % d'acier > 2	ρ > 2 400	2,5	1 000	130	80

Pour les ouvrages dont le béton plein est armé avec moins de 1 % en volume d'acier ou n'entrant pas dans les familles ci-dessus, la valeur à prendre en compte est la valeur définie en 2.2.2.1.1 ci-dessus (Béton plein).

2.2.2.2 *Bétons de granulats courants de laitiers de hauts fourneaux*

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-302.

2.2.2.2.1 *Béton plein*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Avec sable de rivière ou de carrière	2 000 ≤ ρ ≤ 2 400	1,4	1 000	150	120
Avec laitier granulé (granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-306)	2 100 ≤ ρ ≤ 2 300	0,8	1 000	150	120

2.2.2.2.2 *Béton caverneux*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Bétons comportant moins de 10 % de sable de rivière	1 600 ≤ ρ ≤ 2 000	0,7	1 000	150	120

2.2.2.3 *Bétons de granulats légers*

2.2.2.3.1 *Béton de pouzzolane ou de laitier expansé à structures caverneuses*

Granulats conformes aux spécifications des normes NF P 18-307 et NF P 18-308.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 750 kg/m³ environ					
– avec éléments fins ou sable	1 400 ≤ ρ ≤ 1 600	0,52	1 000	30	20
	1 200 ≤ ρ < 1 400	0,44	1 000	30	20
– sans éléments fins de sable	1 000 ≤ ρ ≤1 200	0,35	1 000	30	20

2.2.2.3.2 *Béton de cendres volantes frittées*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 650 kg/m³ environ	1 000 ≤ ρ ≤ 1 200	0,35	1 000	30	20

2.2.2.3.3 *Béton de ponce naturelle*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique apparente des granulats en vrac 600 kg/m³ environ	950 ≤ ρ ≤ 1 150	0,46	1 000	50	40

2.2.2.3.4 *Béton d'argile expansé ou de schiste expansé*

Granulats conformes aux spécifications de la norme NF P 18-309.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(	
				Se	Humide
• Bétons de structure					
Dosage en ciment égal ou supérieur à 300 kg/m³ et masse volumique apparente des granulats en vrac comprise entre 300 et 550 kg/m³, ou supérieure à 550 kg/m³					
– avec sable de rivière, sans sable léger	1 600 < ρ ≤1 800	1,05	1 000	8	6
– avec sable de rivière et sable léger	1 400 ≤ ρ ≤1 600	0,85	1 000	8	6
• Bétons « isolants porteurs »					
Dosage en ciment égal ou supérieur à 300 kg/m³ et masse volumique apparente des granulats en vrac comprise entre 300 et 550 kg/m³					
– avec sable léger et au plus 10 % de sable de rivière	1 200 < ρ ≤ 1 400	0,7	1 000	6	4
– avec sable léger, sans sable de rivière	1 000 ρ ≤ 1 200	0,46	1 000	6	4
• Bétons caverneux et semi-caverneux					
Dosage en ciment inférieur ou égal à 250 kg/m³ et masse volumique apparente des granulats en vrac inférieure à 350 kg/m³ ou comprise entre 350 et 550 kg/m³ pour les bétons de masse volumique comprise entre 600 et 1 000 kg/m³					
– avec sable léger, sans sable de rivière	800 < ρ ≤ 1 000	0,33	1 000	6	4
– sans sable (léger ou de rivière) et ne nécessitant qu'un faible dosage en ciment	600 ≤ ρ ≤ 800	0,25	1 000	6	4
	ρ ≤ 600	0,20	1 000	6	4
• Béton léger à base de ciment et de granulats légers artificiels ou naturels type schiste, argile, ponce, etc.					
Réalisation des voiles extérieurs banchés en façades ou en pignon de bâtiment, selon DTU 23.1 (norme NF P 18-210)	1 200 ≤ ρ < 1 400	0,70	1 000	6	4

2.2.2.3.4.1 Mortier à base de granulats ou de billes de polystyrène expansé, avec ou sans vermiculite exfoliée, avec liant synthétique ou hydraulique

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Se	Humide
Exemples d'application sous chape (procédure d'Avis Technique) ou pour recevoir un système d'étanchéité (norme NF P 84-204, référence DTU 43.1)	250 ≤ ρ < 400	0,20	1 200	30	25
	400 ≤ ρ < 600	0,28	1 200	30	25
	600 ≤ ρ < 800	0,36	1 200	30	25

2.2.2.4 *Bétons de granulats très légers*

2.2.2.4.1 *Bétons de perlite ou de vermiculite grade 3 (de 3 à 6 mm) coulés en place*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Dosage : 3/1	600 < ρ ≤ 800	0,31	1 000	15	10
Dosage : 6/1	400 ≤ ρ ≤ 600	0,24	1 000	15	10

2.2.2.4.2 *Plaques de béton de vermiculite fabriquées en usine*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	400 ≤ ρ ≤ 600	0,19	1 000	15	10

2.2.2.4.3 *Bétons cellulaires traités à l'autoclave*

Matériaux ou application Valeurs utilisables pour des constructions avant 2005	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique nominale 800	765 < ρ ≤ 825	0,29	1 000	10	6
Masse volumique nominale 750	715 < ρ ≤ 775	0,27	1 000	10	6
Masse volumique nominale 700	665 < ρ ≤ 725	0,25	1 000	10	6
Masse volumique nominale 650	615 < ρ ≤ 675	0,23	1 000	10	6
Masse volumique nominale 600	565 < ρ ≤ 625	0,21	1 000	10	6
Masse volumique nominale 550	515 < ρ ≤ 575	0,19	1 000	10	6
Masse volumique nominale 500	465 < ρ ≤ 525	0,175	1 000	10	6
Masse volumique nominale 450	415 < ρ ≤ 475	0,16	1 000	10	6
Masse volumique nominale 400	365 < ρ ≤ 425	0,145	1 000	10	6
Valeurs utilisables pour des constructions après 2005					
Masse volumique nominale 800	775 < ρ ≤ 825	0,25	1 000	10	6
Masse volumique nominale 700	675 < ρ ≤ 725	0,225	1 000	10	6
Masse volumique nominale 600	575 < ρ ≤ 625	0,20	1 000	10	6
Masse volumique nominale 550	525 < ρ ≤ 575	0,18	1000	10	6
Masse volumique nominale 500	475 < ρ ≤ 525	0,16	1 000	10	6
Masse volumique nominale 450	425 < ρ ≤ 475	0,14	1 000	10	6
Masse volumique nominale 400	375 < ρ ≤ 425	0,125	1 000	10	6
Masse volumique nominale 350	325 < ρ ≤ 375	0,11	1 000	10	6

2.2.2.5 *Bétons de bois*

2.2.2.5.1 *Béton de copeaux de bois (conforme aux documents d'Avis Technique)*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	450 ≤ ρ ≤ 650	0,16	1 000	15	10

2.2.2.5.2 *Autre béton de copeaux de bois*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Béton de fibres végétales (fibre de chanvre)	100 ≤ ρ ≤ 200	0,1	1 000		
	200 ≤ ρ ≤ 600	0,2	1 000		

2.2.2.5.3 *Panneaux de laine de bois (fibragglo)*

Se référer au paragraphe 2.2.5.3 de ce fascicule.

2.2.3 PLATRES

Conventionnellement, la masse volumique sèche des plâtres est obtenue après séchage en étuve ventilée à 55 °C au lieu de 70 °C (cf. norme NF B 12-001).

2.2.3.1 *Plâtres sans granulats*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Plâtre « gaché serré » ou « très serré » (plâtre de très haute dureté (THD), plâtre projeté et plâtre fin)	1 200 < ρ ≤ 1 500	0,56	1 000	10	4
	900 < ρ ≤ 1 200	0,43	1 000	10	4
	600 ≤ ρ ≤ 900	0,30	1 000	10	4
	ρ ≤ 600	0,18	1 000	10	4
Plâtre courant d'enduit intérieur (plâtre fin de construction (PFC) ou plâtre gros de construction (PGC)	1 000 ≤ ρ ≤ 1 300	0,57	1 000	10	6
	ρ ≤ 1 000	0,40	1 000	10	6
Enduit intérieur à base de plâtre et de sable	ρ ≤ 1 600	0,80	1 000	10	6
Plaques de plâtres à parement de carton « standard » et « haute dureté » ou éléments préfabriqués en plâtre à parements lisses	750 ≤ ρ ≤ 900	0,25*	1 000	10	4
	ρ < 750	0,21	1 000	10	4
(*) valeur par défaut à considérer en l'absence d'une connaissance précise de la masse volumique					

2.2.3.2 *Plâtre avec granulats légers ou fibres minérales*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Plaques de plâtre à parement de carton « spéciales feu » et plaques de plâtre armées de fibres minérales	800 ≤ ρ ≤ 1 000	0,25	1 000	10	4
Plâtre d'enduit avec perlite tout-venant ou vermiculite grade 2 (de 1 à 2 mm) :					
– 1 volume pour un volume de plâtre	600 ≤ ρ ≤ 900	0,30	1 000	10	6
– 2 volumes pour un volume de plâtre	500 ≤ ρ ≤ 600	0,18	1 000	10	6

2.2.4 *Terre cuite*

Terre cuite utilisée dans les éléments de maçonnerie.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Masse volumique nominale 2 400	2 300 < ρ ≤ 2 400	1,04	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 300	2 200 < ρ ≤ 2 300	0,98	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 200	2 100 < ρ ≤ 2 200	0,92	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 100	2 000 < ρ ≤ 2 100	0,85	1 000	16	10
Masse volumique nominale 2 000	1 900 < ρ ≤ 2 000	0,79	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 900	1 800 < ρ ≤ 1 900	0,74	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 800	1 700 < ρ ≤ 1 800	0,69	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 700	1 600 < ρ ≤ 1 700	0,64	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 600	1 500 < ρ ≤ 1 600	0,60	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 500	1 400 < ρ ≤ 1 500	0,55	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 400	1 300 < ρ ≤ 1 400	0,50	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 300	1 200 < ρ ≤ 1 300	0,46	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 200	1 100 < ρ ≤ 1 200	0,41	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 100	1 000 < ρ ≤ 1 100	0,38	1 000	16	10
Masse volumique nominale 1 000	ρ ≤ 1 000	0,34	1 000	16	10

2.2.5 *Vegetaux*

On caractérise les bois par leur masse volumique normale moyenne tn, c'est-à-dire avec une teneur en humidité th de 15 % selon la terminologie de la norme NF B 51-002.

La densité ainsi caractérisée est donc plus élevée que la masse volumique sèche indiquée dans la deuxième colonne.

2.2.5.1 ***Bois***

On donne dans les tableaux ci-après, la conductivité thermique du bois en fonction de l'essence ou de la masse volumique.

2.2.5.1.1 *Essence de Bois*

Lorsque l'essence de bois est connue lors de l'étude thermique du projet de construction, il sera préférentiellement retenu la valeur de conductivité thermique associée au nom de l'essence.

Matériaux ou application	Conductivité thermique utile (λ) en W/(m.K)
Epicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar	0,11
Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red, Peuplier blanc, Pin maritime, Pin noir d'Autriche et Laricio, Pin sylvestre, Western Hemlock	0,13
Bossé clair, Châtaignier, Jequitiba, Limba / Fraké,Tauari, Tiama, Tola	0,15
Iroko, Louro vermelho (Grignon franc),Makoré / Douka, Mengkulang (Palapi), Mengkulang (Palapi), Meranti dark red, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck	0,16
Bintangor, Bossé foncé, Chêne (rouvre et/ou pédonculé), Curupixa, Doussié, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Frêne, Hêtre, Kosipo, Kotibé, Merbau, Moabi, Movingui, Robinier (faux Acacia)	0,18

2.2.5.1.2 *Masse volumique*

Dans le cas où l'essence de bois n'est pas connue, on pourra utiliser les valeurs de conductivité thermique liées à la masse volumique moyenne ρn.

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
Feuillus très lourds ρ_n > 1 000 kg/m³	$\rho > 870$	0,29	1 600	200	50
Feuillus lourds 865 < $\rho_n \leq$ 1 000 kg/m³	$750 < \rho \leq 870$	0,23	1 600	200	50
Feuillus mi-lourds 650 < $\rho_n \leq$ 865 kg/m³	$565 < \rho \leq 750$	0,18	1 600	200	50
Feuillus légers 500 < $\rho_n \leq$ 650 kg/m³	$435 < \rho \leq 565$	0,15	1 600	200	50
Feuillus très légers 230 < $\rho_n \leq$ 500 kg/m³ hors balsa	$200 < \rho \leq 435$	0,13	1 600	50	20
Balsa $\rho_n \leq$ 230 kg/m³	$\rho \leq 200$	0,057	1 600	50	20
Résineux très lourds ρ_n > 700 kg/m³	$\rho > 610$	0,23	1 600	50	20
Résineux lourds 600 < $\rho_n \leq$ 700 kg/m³	$520 < \rho \leq 610$	0,18	1 600	50	20
Résineux mi-lourds 500 < $\rho_n \leq$ 600 kg/m³	$435 < \rho \leq 520$	0,15	1 600	50	20
Résineux légers $\rho_n \leq$ 500 kg/m³	$\rho \leq 435$	0,13	1 600	50	20

2.2.5.2 *Panneaux à base de bois*

Définis conformément à la norme PR NF EN 13986 (octobre 2000).

2.2.5.2.1 *Panneaux contreplaqués*

Définis selon les normes NF EN 313 -1 et NF EN 313 -2 et bois panneautés définis selon la norme
NF EN 12775.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de masse volumique nominale 850 à 1 000 kg/m³	750 < ρ ≤ 900	0,24	1 600	250	110
Panneaux de masse volumique nominale 700 à 850 kg/m³	600 < ρ ≤ 750	0,21	1 600	250	110
Panneaux de masse volumique nominale 600 à 700 kg/m³	500 < ρ ≤ 600	0,17	1 600	220	90
Panneaux de masse volumique nominale 500 à 600 kg/m³	450 < ρ ≤ 500	0,15	1 600	200	70
Panneaux de masse volumique nominale 400 à 500 kg/m³	350 < ρ ≤ 450	0,13	1 600	200	70
Panneaux de masse volumique nominale 300 à 400 kg/m³	250 < ρ ≤ 350	0,11	1 600	200	50
Panneaux de masse volumique inférieure à 300 kg/m³	ρ ≤ 250	0,09	1 600	200	50

2.2.5.2.2 *Panneaux à lamelles longues et orientées (OSB)*

Définis selon la norme NF EN 300.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ ≤ 650	0,13	1 700	50	30

2.2.5.2.3 *Panneaux de particules liées au ciment*

Définis selon les normes NF EN 634-1 et NF EN 634-2.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ ≤ 1 200	0,23	1 500	50	30

2.2.5.2.4 *Panneaux de particules*

Définis selon la norme NF EN 309.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de masse volumique nominale 700 à 900 kg/m³	640 < ρ ≤ 820	0,18	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 500 à 700 kg/m³	450 < ρ ≤ 640	0,15	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 300 à 500 kg/m³	270 < ρ ≤ 450	0,13	1 700	50	20
Panneaux de masse volumique nominale 200 à 300 kg/m³	180 < ρ ≤ 270	0,10	1700	50	20

2.2.5.2.5 *Panneaux de fibres*

Définis selon la norme NF EN 316.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.5.3 *Panneaux de laine de bois*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Panneaux de laine de bois agglomérés avec un liant hydraulique, définis conformément à la norme NF EN 13168 (WW)	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.5.4 *Liège*

Défini conformément à la norme NF B 57-000.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
– Comprimé – Expansé pur : se reporter au *paragraphe 2.6.3* – Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques : se reporter au *paragraphe 2.6.3*	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.5.5 *Paille comprimée*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.6 MATERIAUX ISOLANTS MANUFACTURES

Sont visés ici les matériaux dont la conductivité thermique est au plus égale à 0,065 W/(m.K), fabriqués en usine ou commercialisés sous la forme de plaques, panneaux ou rouleaux. Les caractéristiques thermiques des isolants sont données par famille d'isolants. Une famille est définie par une norme, un procédé de fabrication et, si nécessaire, des caractéristiques physiques spécifiques à cette famille. Les fabricants qui se réfèrent à une famille dans leurs documentations doivent pouvoir justifier que leurs produits satisfont aux critères d'identification indiqués. En l'absence de cette justification sont applicables les valeurs données aux paragraphes ou alinéas « autres fabrications ».

2.2.6.1 ***Balsa***

Se reporter au paragraphe 2.2.5.1 de ce fascicule.

2.2.6.2 ***Laines minérales***

Définies conformément à la norme NF EN 13162 (MW).

Les masses volumiques indiquées dans ce paragraphe sont les masses volumiques apparentes nominales telles que définies dans la norme NF EN 1602. Elles s'entendent revêtements éventuels exclus.

2.2.6.2.1 ***Laines de roches***

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	15 ≤ ρ < 25	0,050	1 030	1	1
	25 ≤ ρ < 40	0,044	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 100	0,042	1 030	1	1
	100 ≤ ρ < 125	0,044	1 030	1	1
	125 ≤ ρ < 150	0,046	1 030	1	1
	150 ≤ ρ < 175	0,047	1 030	1	1
	175 ≤ ρ < 200	0,048	1 030	1	1

2.2.6.2.2 ***Laines de verres***

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	7 ≤ ρ < 10	0,055	1 030	1	1
	10 ≤ ρ < 15	0,047	1 030	1	1
	15 ≤ ρ < 20	0,044	1 030	1	1
	20 ≤ ρ < 30	0,041	1 030	1	1
	30 ≤ ρ < 40	0,039	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 80	0,038	1 030	1	1
	80 ≤ ρ < 120	0,039	1 030	1	1
	120 ≤ ρ < 150	0,040	1 030	1	1

2.2.6.2.3 *Laines minérales en vrac (masses volumiques à l'application)*

Valeur par défaut pour les produits non visés par les paragraphes 4.3.2.1du fascicule « Parois opaques » des règles Th-Bat.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Laines obtenues par soufflage sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 25	0,056	1 030	1	1
Laines obtenues par épandage manuel sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 60	0,065	1 030	1	1
Laines obtenues par insufflation en mur, en rampant, etc.	20 ≤ ρ < 80	0,060	1 000	1	1

2.2.6.2.4 *Autres laines minérales*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
		0,065	1 030	1	1

2.2.6.2.5 *Laine de laitier ou de roche ou hydraulique appliquées*

Appliquées par projection humide en sous-faces de planchers ou sous-bardages rapportés selon les spécifications du DTU 27.1 (normes NF P 15-201-1 et NF P 15-201-2).

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	140 ≤ ρ < 200	0,045	1 200	2	2
	200 ≤ ρ < 300	0,050	1 200	2	2
	300 ≤ ρ < 500	0,070	1 200	2	2

2.2.6.3 *Liège*

Se référer au paragraphe 2.2.5.4 pour les produits de masse volumique supérieure à 250 kg/m3.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB)	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				
Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques					

2.2.6.4 *Matières plastiques alvéolaires*

2.2.6.4.1 *Polystyrène expansé*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
-Plaques découpées dans des blocs moulés et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	7 ≤ ρ < 10	0,056	1 450	60	60
	10 ≤ ρ < 13	0,050	1 450	60	60
	13 ≤ ρ < 15	0,047	1 450	60	60
-Plaques moulées en continu et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	15 ≤ ρ < 19	0,044	1 450	60	60
	19 ≤ ρ < 24	0,042	1 450	60	60
-Autres plaques moulées à partir de billes	24 ≤ ρ < 29	0,040	1 450	60	60
	29 ≤ ρ < 40	0,039	1 450	60	60
	40 ≤ ρ < 60	0,038	1 450	60	60

2.2.6.4.2 *Plaques extrudées conformes à la norme NF EN 13164 (XPS)*

Dans le cas où les produits ci-dessous sont utilisés en isolation inversée, la conductivité thermique utile devra tenir compte de la teneur en eau additionnelle liée à cette mise en œuvre spécifique soit par application du §2.1.3.1 du présent fascicule soit en se reportant aux avis techniques

2.2.6.4.2.1 Plaques sans gaz occlus autres que l'air et le CO2

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Épaisseur ≤ 60 mm	28 ≤ ρ ≤ 40	0,041	1 450	150	150
Épaisseur > 60 mm	28 ≤ ρ ≤ 40	0,046	1 450	150	150

2.2.6.4.2.2 Plaques avec des hydrofluorocarbures HCFC (142b et/ou R22)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	25 ≤ ρ ≤ 40	0,035	1 450	150	150

2.2.6.4.2.3 Plaques avec chlorofluorocarbures CFC [5]

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Sans peau de surface	25 ≤ ρ ≤ 40	0,033	1 450	150	150
Avec peau de surface	25 ≤ ρ ≤ 40	0,031	1 450	150	150

[5] Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.2.6.4.2.4 Plaques avec des hydrofluorocarbures HFC 134a ou 152a

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Épaisseur ≤ 60 mm	25 ≤ ρ ≤ 40	0,039	1 450	150	150
Épaisseur > 60 mm	25 ≤ ρ ≤ 40	0,044	1 450	150	150

2.2.6.4.2.5 Plaques expansées fabriquées à partir de polystyrène mais n'entrant pas dans les familles définies ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	20 ≤ ρ ≤ 60	0,050	1 450	150	150

2.2.6.4.2.6 Mousse rigide de polychlorure de vinyle définie conformément à la norme NF T 56-202

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Q2	25 ≤ ρ ≤ 35	0,031			
Q3	35 ≤ ρ ≤ 48	0,034			

2.2.6.4.3 *Mousse de polyuréthanne ou de polyisocyanate*

Plaques conformes à la norme NF EN 13165 (PUR).

On donne ici les caractéristiques thermiques des matériaux fabriqués en usine. Pour les produits projetés, se reporter au paragraphe 2.2.6.4.3.9.

2.2.6.4.3.1 Plaques moulées en continu entre revêtements souples et expansées avec des hydrochlorofluoro- carbures HCFC (141b)[4] et/ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Revêtements perméables à la diffusion	27 ≤ ρ ≤ 40	0,035	1 400	60	60
Alu > 50 μm ou reconnus étanches aux gaz	27 ≤ ρ ≤ 40	0,030	1 400	60	60

2.2.6.4.3.2 Plaques découpées dans des blocs moulés en continu et expansés avec des hydrochlorofluoro- carbures HCFC (141b)[6] et/ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	37 ≤ ρ ≤ 65	0,041	1 400	60	60

[6] Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.2.6.4.3.3 Plaques moulées en continu injectées entre deux parements rigides (métal, verre, etc.)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Expansées avec des hydrochlorocarbures (4) ou du pentane	37 ≤ ρ ≤ 60	0,032	1 400	60	60
Expansées sans gaz occlus autre que l'air	37 ≤ ρ ≤ 60	0,035	1 400	60	60

2.2.6.4.3.4 Plaques moulées en continu projetés sur un parement rigide (plâtre, dérivés du bois, etc.) expansées avec des hydrochlorofluorocarbures7 ou aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	30 ≤ ρ ≤ 50	0,035	1 400	60	60

2.2.6.4.3.5 Plaques moulées en continu ou découpées dans des blocs moulés expansés sans gaz occlus autres que l'air ou du CO2

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	15 ≤ ρ ≤ 30	0,040	1 400	60	60

2.2.6.4.3.6 Plaques conformes à la norme NF T 56-203, découpées dans des blocs moulés en discontinu avec gaz CFC (5)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Référence AD	30 ≤ ρ < 35	0,030	1 400	60	60
Référence BD	35 ≤ ρ < 40	0,030	1 400	60	60
Référence CD	40 ≤ ρ < 50	0,035	1 400	60	60
Référence DD	50 ≤ ρ < 60	0,035	1 400	60	60
Référence ED	60 ≤ ρ < 70	0,040	1 400	60	60
Référence FD	70 ≤ ρ < 100	0,045	1 400	60	60

2.2.6.4.3.7 Plaques conformes à la norme NF T 56-203, découpées dans des blocs moulés en discontinu avec gaz CFC 8)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Référence AC	29 ≤ ρ < 31	0,030	1 400	60	60
Référence BC	31 ≤ ρ < 33	0,030	1 400	60	60
Référence CC	33 ≤ ρ < 37	0,035	1 400	60	60

[7] Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

[8] Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

Référence DC	$37 \leq \rho < 46$	0,035	1 400	60	60
Référence EC	$46 \leq \rho < 56$	0,035	1 400	60	60
Référence FC	$56 \leq \rho < 66$	0,040	1 400	60	60
Référence GC	$66 \leq \rho < 75$	0,040	1 400	60	60
Référence HC	$75 \leq \rho < 100$	0,045	1 400	60	60

2.2.6.4.3.8 Plaques moulées en continu avec gaz CFC[(6)9]

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$27 \leq \rho \leq 35$	0,030	1 400	60	60

2.2.6.4.3.9 Plaques expansées, fabriquées à partir de polyuréthane mais n'entrant pas dans les familles définies ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$20 \leq \rho < 60$	0,050	1 400	60	60

2.2.6.4.3.10 Mousse de polyuréthanne ou de polyisocyanurate ou mousse de faible densité à base d'isocyanate à cellules ouvertes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Application en sol in situ sous chape	$20 \leq \rho < 60$	0,050	1 400	60	60
Autres applications	$5 \leq \rho < 60$	0,060	1 400	60	60

2.2.6.4.3.11 Mousse phénolique rigide

On ne donne ici que les caractéristiques thermiques des matériaux fabriqués en usine.

2.2.6.4.3.12 Panneaux fabriqués en continu, expansés aux hydrochlorofluorocarbures (HCFC 141b) et (ou) aux hydrochlorocarbures (LBL2) et (ou) aux pentanes

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$30 \leq \rho \leq 45$	0,030	1 400	50	50

2.2.6.4.3.13 Panneaux fabriqués à partir de mousse phénolique mais n'entrant pas dans la famille ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	$30 \leq \rho \leq 60$	0,050	1 400	50	50

[9] Ces produits sont visés par le règlement CEE, portant sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone. En conséquence, les valeurs qui leur correspondent ne valent que pour les ouvrages réalisés avant 1996 et maintenus en l'état.

2.2.6.4.4 *Autres matières plastiques alvéolaires fabriquées en usine*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Isolants fabriqués à partir d'autres matières plastiques alvéolaires	7 ≤ ρ ≤ 100	0,065			

2.2.6.5 *Plaques à base de perlite expansée*

2.2.6.5.1.1 Plaques comportant un pourcentage de perlite expansée et de fibres supérieur à 80 %

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	220 ≤ ρ ≤ 275	0,062	900	5	5
	180 ≤ ρ ≤ 220	0,060	900	5	5
	150 ≤ ρ ≤ 180	0,059	900	5	5

2.2.6.5.1.2 Plaques à base de perlite expansée et de cellulose agglomérées, n'entrant pas dans la famille ci-dessus

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	140 ≤ ρ < 260	0,064			

2.2.6.6 *Plaques homogènes de verre cellulaire*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m^3	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Fabrications postérieures à 1978	110 ≤ ρ ≤ 140	0,051	1 000	00	00
	140 ≤ ρ ≤ 180	0,057	1 000		

2.2.6.7 ***Produits manufacturés à base de fibres végétales (laine de chanvre, laine de lin en panneaux ou rouleaux, coton, etc.)***

2.2.6.7.1.1 Cellulose à base de papiers broyés

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
Application par machine pneumatique	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				
Application manuelle par épandage					

2.2.6.7.1.2 Chanvre et lin

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
Fibres liées	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				
Fibres non liées : en vrac					

2.2.6.7.1.3 Paille de blé comprimée

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
Transversalement au sens de la paille	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				
Dans le sens de la paille					

2.2.6.7.1.4 Autres types de paille comprimée

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.6.7.1.5 Autres isolants à base de fibres végétales

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.6.8 ***Produits manufacturés à base de fibres animales (laine de mouton, etc.)***

2.2.6.8.1.1 Laine de mouton

Matériaux ou application	**(ρ) en kg/m³**	**(λ) en W/(m.K)**	**(C_p) en J/(kg.K)**	**(μ)**	
				Sec	**Humide**
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.6.8.1.2 Autres isolants à base de fibres animales

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	Voir l'annexe XII de l'arrêté susvisé				

2.2.7 MATIERES PLASTIQUES SYNTHETIQUES COMPACTES, MASTICS ET PRODUITS D'ETANCHEITE

2.2.7.1 *Matières synthétiques compactes d'usage courant dans le bâtiment*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Naturel	910	0,13	1 100	10 000	10 000
Néoprène (polychloroprène)	1 240	0,23	2 140	10 000	10 000
Butyle (isobutène), plein/coulé à chaud	1 200	0,24	1 400	200 000	200 000
Caoutchouc mousse	60-80	0,06	1 500	7 000	7 000
Caoutchouc dur (ébonite), plein	1 200	0,17	1 400	∞	∞
Éthylène propylène diène monomère (EPDM)	1 150	0,25	1 000	6 000	6 000
Polyisobuthylène	930	0,20	1 100	10 000	10 000
Polysulfure	1 700	0,40	1 000	10 000	10 000
Butadiène	980	0,25	1 000	100 000	100 000
Acryliques	1 050	0,20	1 500	10 000	10 000
Polycarbonates	1 200	0,20	1 200	5 000	5 000
Polytétrafluoréthylène (PTFE)	200	0,25	1 000	10 000	10 000
Chlorure de polyvinyle (PVC)	1 390	0,17	1900	50 000	50 000
Polyméthylméthacrylate (PMMA)	1 180	0,18	1 500	50 000	50 000
Polyacétate	1 410	0,30	1 400	100 000	100 000
Polyamide (nylon)	1 150	0,25	1 600	50 000	50 000
Polyamide 6.6 avec 25 % de fibres de verre	1 450	0,30	1 600	50 000	50 000
Polyéthylène/polythène, haute densité	980	0,50	1 800	100 000	100 000
Polyéthylène/polythène, basse densité	920	0,33	2 200	100 000	100 000
Polystyrène	1 050	0,16	1 300	100 000	100 000
Polypropylène	910	0,22	1 800	10 000	10 000
Polypropylène avec 25 % de fibres de verre	1 200	0,25	1 800	10 000	10 000
Polyuréthanne (PU)	1 200	0,25	1 800	6 000	6 000
Résine époxy	1 200	0,20	1 400	10 000	10 000
Résine phénolique	1 300	0,30	1 700	100 000	100 000
Résine polyester	1 400	0,19	1 200	10 000	10 000

2.2.7.2 *Mastics pour joints, étanchéité et coupure thermique*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Silicagel (dessicatif)	720	0,13	1 000	∝	∝
Silicone pur	1 200	0,35	1 000	5 000	5 000
Silicone mastic	1 450	0,50	1 000	5 000	5 000
Mousse de silicone	750	0,12	1 000	10 000	10 000
Uréthane polyuréthanne (coupure thermique)	1 300	0,21	1 800	60	60
Chlorure de polyvinyle flexible avec 40 % de plastifiant	1 200	0,14	1 000	100 000	100 000
Mousse élastomère flexible	60-80	0,05	1 500	10 000	10 000
Mousse de polyuréthanne (PU)	70	0,05	1 500	60	60
Mousse de polyéthylène	70	0,05	2 300	100	100

2.2.7.3 *Produits d'étanchéité*

Les matériaux de protection, placés au-dessus de l'étanchéité ne sont pas pris en compte dans le calcul du facteur μ, sauf spécification contraire donnée dans un Avis Technique.

2.2.7.3.1.1 Asphalte

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Asphalte pur	ρ ≤ 2 100	0,70	1 000	50 000	50 000
Asphalte sablé		1,15	1 000	50 000	50 000

2.2.7.3.1.2 Bitume

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Pur	ρ ≤ 1 050	0,17	1 000	50 000	50 000
Cartons feutres et chapes souples imprégnées	1 000 ≤ ρ ≤ 1 100	0,23	1 000	50 000	50 000

2.2.8 METAUX

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Aluminium	2 700	230	880	∝	∝
Alliages d'aluminium	2 800	160	880	∝	∝
Bronze	8 700	65	380	∝	∝
Laiton	8 400	120	380	∝	∝
Cuivre	8 900	380	380	∝	∝
Fer pur	7 870	72	450	∝	∝
Fer, fonte	7 500	50	450	∝	∝
Plomb	11 300	35	130	∝	∝
Acier	7 800	50	450	∝	∝
Acier inoxydable	7 900	17	460	∝	∝
Zinc	7 200	110	380	∝	∝

2.2.9 AUTRES MATERIAUX

2.2.9.1 *Terres et sols*

2.2.9.1.1 *Sols*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Sable et gravier	1 700 ≤ ρ ≤ 2 200	2,0	910-1 180	50	50
Argile ou limon	1 200 ≤ ρ ≤ 1 800	1,5	1 670-2 500	50	50

2.2.9.1.2 *Pisé, bauge, béton de terre stabilisé, blocs de terre comprimée*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 770 ≤ ρ ≤ 2 000	1,1			

2.2.9.1.3 *Revêtements de sol*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Caoutchouc	1 200	0,17	1 400	10 000	10 000
Plastique	1 700	0,25	1 400	10 000	10 000
Sous-couche, caoutchouc-mousse ou plastique cellulaire	270	0,10	1 400	10 000	10 000
Sous-couche feutre	120	0,05	1 300	20	15
Sous-couche laine	200	0,06	1 300	20	15
Sous-couche liège	ρ < 200	0,05	1 500	20	10
Plaque de liège	ρ > 400	0,065	1 500	40	20
Tapis, revêtement textile	200	0,06	1 300	5	5
Linoléum	1 200	0,17	1 400	1 000	800

2.2.9.2 *Mortiers d'enduits et de joints de ciment ou de chaux*

Les mortiers de masse volumique inférieure à 1 800 kg/m3 sont considérés comme non traditionnels.

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	ρ > 2 000	1,8	1 000	10	6
	1 800 < ρ ≤ 2 000	1,3 (*)	1 000	10	6
	1 600 < ρ ≤ 1 800	1,0	1 000	10	6
	1 450 < ρ ≤ 1 600	0,80	1 000	10	6
	1 250 < ρ ≤ 1 450	0,70	1 000	10	6
	1 000 < ρ ≤ 1 250	0,55	1 000	10	6
	750 < ρ ≤ 1 000	0,40	1 000	10	6
	500 < ρ ≤ 750	0,30	1 000	10	6
(*) La masse volumique moyenne d'un mortier de pose est de 1 900 kg/m³.					

2.2.9.3 *Fibres-ciment et fibres-ciment cellulose*

2.2.9.3.1 *Fibres-ciment*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 800 < ρ ≤ 2 200	0,95			
	1 400 ≤ ρ ≤ 1 800	0,65			

2.2.9.3.2 *Fibres-ciment cellulose*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	1 400 < ρ ≤ 1 800	0,46			
	1 000 ≤ ρ ≤ 1 400	0,35			

2.2.9.4 *Plaques à base de vermiculite agglomérées aux silicates*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
	400 < ρ ≤ 500	0,19			
	300 < ρ ≤ 400	0,14			
	200 < ρ ≤ 300	0,10			

2.2.9.5 *Verre*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Verre sodo-calcaire (y compris le verre flotté)	2 500	1,00	750	∝	∝
Quartz	2 200	1,40	750	∝	∝
Pâte de verre	2 000	1,20	750	∝	∝

2.2.9.6 *Matériaux en vrac*

Les caractéristiques de ces matériaux sont fonction de leur mise en œuvre ; elles sont données dans le fascicule « Parois opaques ».

2.2.9.7 *Gaz*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Air	1,23	0,025	1 008	1	1
Dioxyde de carbone	1,95	0,014	820	1	1
Argon	1,70	0,017	519	1	1
Hexafluorure de soufre	6,36	0,013	614	1	1
Krypton	3,56	0,009	245	1	1
Xénon	5,68	0,0054	160	1	1

2.2.9.8 *Eau*

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m³	(λ) en W/(m.K)	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
				Sec	Humide
Glace à –10 °C	920	2,30	2 000		
Glace à 0 °C	900	2,20	2 000		
Neige fraîchement tombée (< 30 mm)	100	0,05	2 000		
Neige souple (30-70 mm)	200	0,12	2 000		
Neige légèrement comprimée (70-100 mm)	300	0,23	2 000		
Neige compactée (< 200 mm)	500	0,60	2 000		
Eau à 10 °C	1 000	0,60	4 190		
Eau à 40 °C	990	0,63	4 190		
Eau à 80 °C	970	0,67	4 190		

3. FASCICULE « PAROIS VITREES »

3.1 Introduction

Ce fascicule décrit les méthodes pour la détermination des caractéristiques thermiques, énergétiques et lumineuses utiles des parois vitrées (U, S et Tl), équipées ou non de fermetures ou de stores, et de leurs composants dans le cadre d'un calcul réglementaire de consommation d'énergie ou de l'évaluation du confort d'été. Il ne traite pas les parois pariétodynamiques.

Les caractéristiques intrinsèques de la paroi vitrée déterminées suivant ce fascicule servent notamment :

- à la vérification de la caractéristique de la paroi vitrée par rapport aux exigences minimales éventuelles fixées par les réglementations thermiques en vigueur.
- et/ou au calcul des déperditions par les parois du bâtiment ; la surface de la paroi vitrée prise en compte pour les fenêtres, portes et porte- fenêtres, est celle en tableau.

Ces caractéristiques thermiques peuvent être élaborées suivant des normes produits harmonisées Européenne lorsqu'elles existent ou à défaut être déterminées suivant les méthodes décrites ci-après.

Lorsqu'une caractéristique thermique est déterminable par une norme produit harmonisée (nommée caractéristique déclarée dans la suite du document) celle-ci doit être utilisée comme données d'entrée pour la détermination de la caractéristique thermique utile du composant vitré pour les calculs réglementaires.

Lorsqu'un calcul de consommation énergétique globale ou de confort thermique à l'échelle du bâtiment est requis, les caractéristiques thermiques, énergétiques et lumineuses de la paroi vitrée doivent être déterminées en fonction de ses dimensions et constituants réels (profilés, vitrage, intercalaire, partie opaque éventuelle).

3.1.1 COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U

Le coefficient de transmission thermique surfacique utile de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le flux thermique entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage sur la performance thermique est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.1.

3.1.2 FACTEUR DE TRANSMISSION SOLAIRE S

Le facteur solaire global de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le rayonnement solaire entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.2.

Le facteur solaire global correspond au rapport entre l'énergie pénétrant par une paroi à l'intérieur du local et l'énergie solaire incidente sur la face extérieure de la paroi :

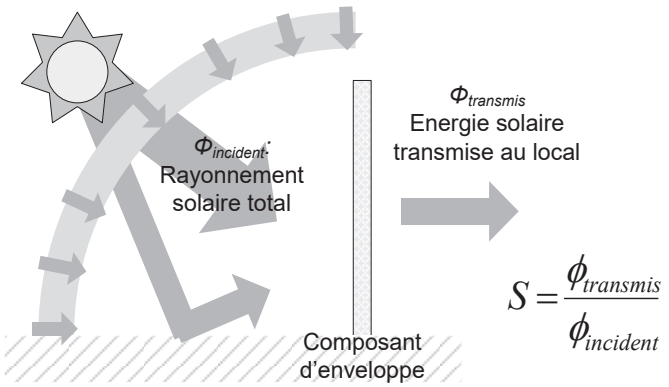


Figure 9 : Notion de facteur de transmission solaire S

L'énergie pénétrant à l'intérieur du local exclut tous les transferts d'énergie dus aux différences de températures entre les ambiances intérieures et extérieures ; elle n'est liée qu'à l'effet du soleil.

Le facteur solaire global d'une paroi vitrée se décompose en trois composantes :

- Une composante courte longueur d'onde, notée « 1 », qui correspond à la partie transmise directement par la paroi vitrée
- Une composante de réémission thermique en grande longueur d'onde, notée « 2 », qui est due à l'échauffement de la face intérieure de la paroi sous l'effet du soleil,
- Une composante de ventilation, notée « 3 », uniquement si la paroi est constituée d'une lame d'air ventilée sur l'intérieur, et qui est donc susceptible de s'échauffer sous l'effet du soleil. C'est typiquement le cas d'une protection solaire intérieure.

La somme des composantes « 1 », « 2 » et « 3 » forme le facteur solaire global de la paroi vitrée.

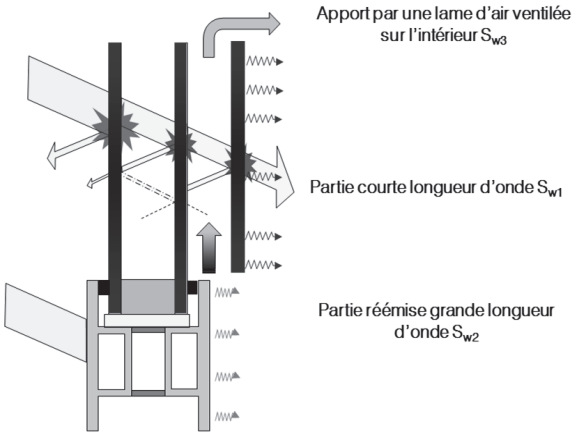


Figure 10 : Composantes 1,2 et 3 du facteur de transmission solaire – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

3.1.3 FACTEUR DE TRANSMISSION LUMINEUSE TL

Le facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée, déterminé selon ce fascicule, caractérise la capacité de la paroi à transmettre le rayonnement lumineux entre les deux milieux qu'elle sépare

Ce coefficient permet de caractériser le procédé de façon intrinsèque. L'impact de son intégration dans l'ouvrage est pris en compte de façon séparée par l'intermédiaire du chapitre 3.3.3.

On appelle facteur de transmission lumineuse le rapport entre le rayonnement transmis par la paroi vitrée et le rayonnement incident dans la gamme de longueur d'onde du visible.

Dans le cas général d'une paroi vitrée, l'énergie lumineuse pénétrant vers l'intérieur se décompose en deux composantes :

- Une composante directe « dir », qui correspond à la partie transmise directement par la paroi vitrée
- Une composante diffuse « diff », qui correspond à la partie transmise sous forme diffuse par la paroi vitrée

La somme des composantes directe et diffuse forme le facteur de transmission lumineuse global de la paroi vitrée.

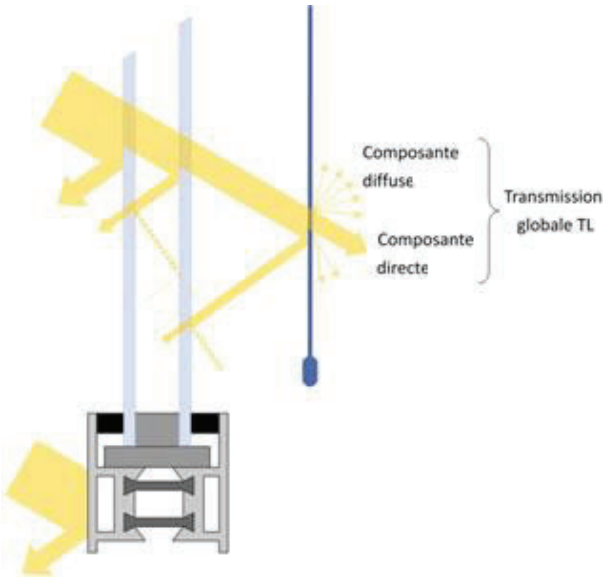


Figure 11 : Décomposition de l'énergie lumineuse – cas d'une fenêtre équipée d'une protection solaire intérieure

3.1.4 REFERENCES NORMATIVES

Les versions des normes suivantes en vigueur à la date de publication de ce document s'appliquent.

Normes d'essai

NF EN ISO 8302 Isolation thermique – Détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire – Méthode de la plaque chaude gardée.

NF EN ISO 12567-1 Isolation thermique des portes et fenêtres – Détermination de la transmission thermique par la méthode de la boîte chaude.

NF EN 674 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de l'anneau de garde.

NF EN 675 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode du fluxmètre.

NF EN 12898 Verre dans la construction - Détermination de l'émissivité.

NF EN 12412-2 Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 2 : profilés de menuiserie.

NF EN 12412-4 Fenêtres, portes et fermetures – Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude – Partie 4 : coffres de volets roulants.

Normes de calcul

NF EN ISO 10077-1 Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 1 : Méthode simplifiée.

NF EN ISO 10077-2 Performances thermiques des fenêtres, portes et fermetures – Calcul du coefficient de transmission thermique – Partie 2 : Méthode numérique pour profilés de menuiserie.

NF EN 673 Verre dans la construction – Détermination du coefficient de transmission thermique U – Méthode de calcul.

NF EN ISO 12631 Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique.

NF EN ISO 6946 Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.

NF EN 13125 Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs – Résistance thermique additionnelle – Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit.

NF EN ISO 10211 Ponts thermiques dans les bâtiments - Flux thermiques et températures superficielles - Calculs détaillés.

EN 410	Verre dans la construction : détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages.
ISO 52022-3	Méthode de calcul détaillée des caractéristiques solaires et de lumière du jour pour les dispositifs de protection solaire combinés à des vitrages.
EN 14500	Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, méthode de calcul.
XP P50-77	Détermination du facteur de transmission solaire et lumineuse.

Normes produits

NF EN 1096	Verre dans la construction - Verre à couche.
NF EN 1279	Verre dans la construction – Vitrage isolant préfabriqué scellé.
NF EN 572	Verre dans la construction - Produits de base : verre de silicate sodo-calcique.
NF EN 14351-1	Fenêtres et portes — Norme produit, caractéristiques de performance — Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons.
NF EN 14501	Fermetures et stores : confort thermique et lumineux, caractérisation des performances et classification.
NF EN 16153	Plaques d'éclairement multiparois et planes en polycarbonate (PC) pour usage intérieur ou extérieur dans les toitures, bardages et plafonds - Exigences et méthodes d'essai.
NF EN 1873	Accessoires préfabriqués pour couverture - Lanterneaux ponctuels en matière plastique - Spécifications des produits et méthodes d'essais.
NF EN 14963	Éléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière - Classification, spécifications et méthodes d'essais.
NF EN 13830	Façades rideaux - Norme de produit.

3.1.5 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

3.1.5.1 ***Définitions***

Dans ce document, les définitions suivantes s'appliquent :

– **Flux thermique Φ en W** : quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps ;

– **Densité surfacique (ou linéique) du flux thermique φ, en W/m^2 (ou W/m)** : flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur) ;

– **Conductivité thermique λ, en W/(m.K)** : flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce matériau ;

– **Coefficient de transmission surfacique U, en W/(m^2.K)** : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;

– **Coefficient de transmission linéique ψ, en W/(m.K)** : flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;

– **Résistance thermique R, en (m^2.K)/W** : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce système ;

– **Résistance thermique totale R_T, en (m^2.K)/W** : somme de la résistance thermique R d'une paroi et des résistances thermiques superficielles côtés intérieur et extérieur ;

– **Résistance superficielle R_s, en (m^2.K)/W** : inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;

- **Elément de remplissage** : il s'agit généralement soit d'un vitrage (simple, double ou triple), soit d'un panneau opaque (ou translucide) ;

- **Menuiserie** : ensemble de profilés, fixes, dormants ou ouvrants (incluant les joints, mastics et produits d'étanchéité) pouvant encadrer l'élément de remplissage ;

- **Aire projetée** : aire de la surface projetée sur un plan parallèle à l'élément de remplissage de la paroi vitrée ;

- **Aire développée** : surface de toutes les parties, d'un élément donné, en contact direct avec l'ambiance, intérieure ou extérieure, selon le cas ;

- **Cavité d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est inférieure à dix fois son épaisseur ;

- **Lame d'air** : volume d'air dont la largeur de la section transversale, en partie courante, est supérieure à dix fois son épaisseur ;

- **Cavité d'air non ventilée** : cavité complètement fermée ou qui communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure par le biais d'un interstice ne dépassant pas 2 mm ;

- **Cavité d'air partiellement ventilée** : cavité dont la profondeur est supérieure ou égale à la largeur 2 < l ≤ 10 mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure ;

- **Cavité d'air fortement ventilée** : cavité dont la profondeur est inférieure à la largeur 2 < l ≤ 10 mm de l'unique interstice à travers lequel elle communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure ou cavité qui communique avec l'ambiance intérieure ou extérieure par le biais d'un interstice de largeur l > 10 mm ;

- **Bloc-baie** : dit également bloc-fenêtre, il s'agit d'un composant destiné à être mis en œuvre dans une baie et constitué d'une fenêtre (ou porte-fenêtre) avec sa fermeture, montées en usine ;

- **Façade rideau** : façade légère constituée d'un assemblage de profilés d'ossature et de menuiserie et d'éléments de remplissage opaques, transparents, ou translucides. Elle peut comporter une ou plusieurs parois et elle est située entièrement en avant d'un nez de plancher ;

- **Valeurs tabulées** : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,

- **Valeurs par défaut** : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,

- **Caractéristique thermique utile** : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc…).

- **Caractéristique thermique déclarée** : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Documents d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrée dans le bâtiment.

- Baie : ouverture ménagée dans une paroi extérieure servant pour l'éclairage, le passage ou l'aération. La baie est l'ouverture accueillant la paroi vitrée. Les facteurs de transmission solaire ou lumineux obtenus sont définis au niveau de la baie.

- Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées : dispositif parallèle au plan de la paroi vitrée, constitué de lames fixes inclinées d'un angle compris entre 0° et 90° par rapport au plan de la paroi vitrée.

- Cadre : élément structurel opaque de l'ensemble menuisé.

- Cas courant : baie associée à une paroi vitrée entrant dans le domaine d'application de la norme XP P50-777. Si tel n'est pas le cas, on parlera de **cas particulier** (par exemple pour les lanterneaux).

- Composant d'enveloppe : un composant d'enveloppe est soit une paroi opaque, soit un pont thermique, soit une baie.

- Elément opaque (de paroi vitrée) [2] : remplissage opaque constitutif de l'ensemble menuisé.

- Inclinaison d'un composant : l'inclinaison d'un composant d'enveloppe est notée β, et comprise dans l'intervalle [0°;180°[, où 0° correspond à une paroi horizontale orientée vers le ciel, 90° à une paroi verticale et 180° à une paroi horizontale orientée vers le bas.

- Masque proche : obstacle architectural au rayonnement solaire, lié au bâtiment étudié, tel que les surplombs ou les débords latéraux (« casquettes ») ou les brise-soleil fixes.

- Masque proche à projection : masque proche opaque, transparent ou translucide incliné d'un angle β_{pp} par rapport à la verticale, et recouvrant partiellement le composant d'enveloppe.

- Orientation d'un composant d'enveloppe : il s'agit de l'orientation de la paroi vitrée associée à la baie. Elle est notée θ et est comprise dans l'intervalle [0°;360°[. Par convention, l'orientation sud correspond à 0°, l'ouest à 90°, le nord à 180° et l'est à 270°.

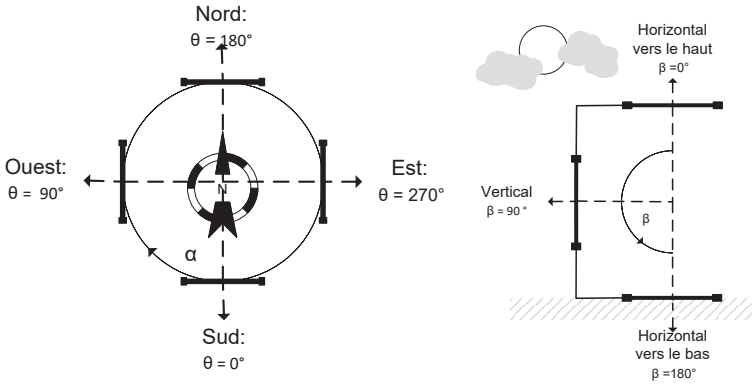


Figure 12 : Conventions d'orientation et d'inclinaison des composants d'enveloppe

- Paroi transparente ou translucide : une paroi est dite transparente ou translucide si son facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire, elle est dite opaque. Un vitrage est un exemple de paroi transparente.

- Paroi vitrée : ensemble menuisé constitué de l'assemblage d'un vitrage, d'un cadre et éventuellement d'une paroi opaque, créant une surface séparative entre un local et le milieu extérieur (voir Figure 13). Une paroi vitrée peut être associée ou non à une protection mobile.

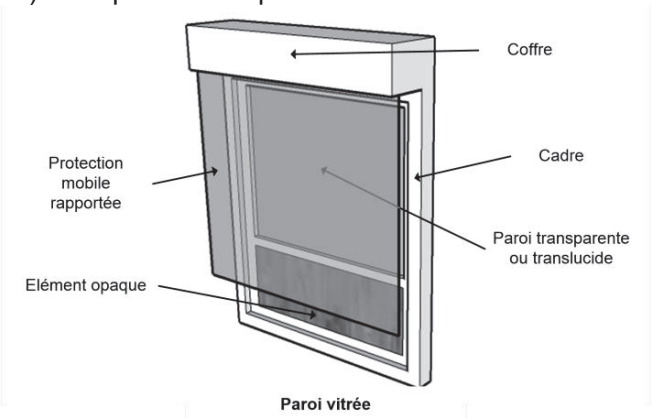


Figure 13 : Éléments constitutifs de la paroi vitrée

- Protection mobile rapportée : ensemble constitué d'un tablier et d'un système de manœuvre se déployant et se repliant parallèlement au plan d'une paroi vitrée dans le but d'en faire varier les propriétés énergétiques et lumineuses. Par extension, on englobe dans ce terme toute protection formant un angle β_{pp} inférieur à 30° par rapport à la verticale. Une protection mobile rapportée peut être installée à l'intérieur d'un local, à l'extérieur, ou entre deux vitrages.

- Protection mobile à projection : protection mobile extérieure formant un angle β_{pp} supérieur à 30° par rapport à la verticale (par opposition à une protection mobile rapportée). Cette appellation regroupe notamment l'ensemble des stores toile à projection, stores bannes, et volets ou persiennes projetables. Ces produits ne sont pas couverts par les présentes règles.

- Protection mobile rapportée à lames inclinées[5] (ou orientables) : protection mobile dont le tablier est constitué de lames inclinées selon un axe horizontal ou vertical d'un angle compris entre 0° et 90° par rapport au plan de la baie. Si ce n'est pas le cas, on parlera de protection mobile sans lames inclinées.

3.1.5.2 *Symboles et indices*

3.1.5.2.1 *Coefficient U*

Tableau 9 : Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m^2.K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
e	Epaisseur	m
R	Résistance thermique	m^2.K/W
A	Surface	m
l	Longueur, largeur	m
ΔR	Résistance additionnelle	m^2.K/W
T	Température	K
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
ε_n	Emissivité normale	-
ε	Emissivité corrigée	-
E	Emittance	-
F	Facteur de forme	-
h	Coefficient d'échanges superficiels	W/(m^2.K)
φ	Flux thermique par unité de longueur	W/m
H	Hauteur	m

Tableau 10 : Indices

cw	Façade rideau
s	Lame d'air ou de gaz, fermeture, store intérieur, extérieur ou entre vitrage
w	Fenêtre ou porte fenêtre nue
d	Porte
jn	Jour-nuit
f	Menuiserie
ws	Fenêtre, porte ou porte fenêtre nue avec fermeture ou store
c	Coffre de volet roulant
eq	Equivalent
a	Convection
r	Rayonnement
g	Vitrage
bb	Bloc-baie
t	Plaque translucide
p	Panneau opaque

3.1.5.2.2 *Facteur solaire S*

Tableau 11 : Nomenclature pour le facteur solaire

Nom	Unité	Description
$F^{fs,Cch}_{bati\_dir}$, $F^{fs,Cclim}_{bati\_dir}$, $F^{fs,E}_{bati\_dir}$ $F^{fs}_{bati\_dif}$	/	Coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires pour le rayonnement direct en conditions Cch, Cclim et E, et pour le rayonnement diffus.
$F^{fs,Cch}_{bati\_dir}$, $F^{fs,Cclim}_{bati\_dir}$, $F^{fs,E}_{iv\_dir}$ $F^{fs}_{iv\_dif}$	/	Coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable du rayonnement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions Cch, Cclim et E
$R^{fs,Cch}_{dir}$ $R^{fs,Cclim}_{dir}$ $R^{fs,E}_{dir}$	/	Parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions Cch, Cclim et les conditions E
K_s	-	Coefficient de forme caractéristique de la baie, fonction des dimensions de celle-ci et de la distance séparant le plan du vitrage de la face extérieure de la paroi opaque.
l_{pp}	m	Longueur du masque à projection
H	m	Hauteur de la baie
β_{pp}	°	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	Facteur de transmission global du matériau constituant le masque à projection
C_{opp}	-	Coefficient d'ouverture du masque à projection, équivalent à celui d'une protection à projection défini dans la norme NF EN 14500.
A_t	m^2	Aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi
A_p	m^2	Aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture
h_e	W/(m².K)	Coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
r_v	-	Rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale
L_1	m	Périmètre intérieur de la costière
α_{e1}	-	Coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière
ψ_1	W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière et calculé selon les Règles Th-Bât, document Méthodes - fascicule parois vitrées.
L_2	m	longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux
α_{e2}	-	Coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux
ψ_2	W/(m.K)	Coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux et calculé selon les Règles Th-Bât, document Méthodes - fascicule parois vitrées.

Conventions d'indices

Ces notations, également employées dans les présentes règles sont explicitées ci-dessous.

Les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

- **w** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place,
- **ws :** paroi vitrée associée à ses éléments opaques avec protection rapportée en place,

Les composantes sont désignées de la manière suivante :

- **1** : composante de transmission directe, aussi qualifiée de composante CLO (courtes longueurs d'onde) ;
- **2 :** composante de réémission thermique vers l'intérieur, aussi qualifiée de composante GLO et convective (en référence aux échanges par rayonnement grandes longueurs d'onde et convection) ;
- **3 :** composante dite de ventilation liée à la présence d'une lame d'air intérieure ventilée (échauffement et circulation d'une partie de l'air intérieur).

Les deux jeux de conditions aux limites sont distingués par les exposants suivants :

- **C :** conditions pour le calcul des consommations d'énergie, à retenir à la fois pour les locaux climatisés et non-climatisés. Lorsque cela s'avère pertinent, le texte distingue les conditions relatives à la période de chauffage seule ou l'ensemble de l'année. On emploie alors les indices suivants :
  - **C ch** *:* conditions pour le calcul des consommations d'énergie sur la période de chauffage, à retenir uniquement pour des locaux non climatisé*s,*
  - **C clim :** conditions pour le calcul des consommations d'énergie sur l'ensemble de l'année, à retenir uniquement pour des locaux climatisés*,*
- **E :** conditions pour le calcul du confort thermique d'été et le dimensionnement des systèmes de refroidissement.

Dans le cadre des présentes règles, on retient les notations suivantes :

- **sp,b :** ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sans protection rapportée en place,
- **ap,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, avec protection rapportée en place,
- **ouv :** fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte sans protection rapportée en place,
- **ouvs :** fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte avec protection rapportée en place.

3.1.5.2.3 *Facteur de transmission lumineuse TL*

Tableau 12 : Nomenclature pour le facteur de transmission lumineuse

Nom	Unité	Description
TLi	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct
TLii	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme directe
TLid	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement incident direct transmis sous forme diffuse
TLd	/	Facteur de transmission lumineuse global de l'éclairement diffus
TLdi	/	Facteur de transmission lumineuse de l'éclairement diffus transmis sous forme directe
TLdd	/	Facteur de transmission de l'éclairement provenant du ciel sans soleil ou du sol dans une autre direction que l'axe des différentes sources
τ_v^{n-n}	/	Facteur de transmission lumineuse normal-normal
τ_v^{n-h}	/	Facteur de transmission lumineuse normal-hémisphérique
τ_v^{h-h}	/	Facteur de transmission lumineuse hémisphérique-hémisphérique
θ	°	Orientation de la baie
β	°	Inclinaison de la baie
β_{pp}	°	Angle d'inclinaison des protections fixes à projection par rapport à la verticale
τ_v	/	Facteur de transmission lumineuse d'un matériau ou un vitrage (normes EN 410 et EN 14500)
ρ_v	/	Facteur de réflexion lumineuse d'un matériau ou vitrage (norme EN 410)
TL_w	/	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée sans protection mobile (norme XP P50-777)
TL_{ws}	/	Facteur de transmission lumineuse de la paroi vitrée avec protection mobile en place (norme XP P50-777)
$TL_{w\_n,dif}$	/	Facteur de transmission lumineuse du rayonnement incident direct, transmis sous forme diffuse (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_n,dif}$	/	Facteur de transmission lumineuse d'un rayonnement direct normal à la paroi, transmis sous forme diffuse (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_dir(\eta,\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident direct, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables pour une inclinaison des lames α et un angle de profil η (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_dir,dif(\eta,\alpha)}$	//	Facteur de transmission lumineuse du rayonnement incident direct, transmis sous forme diffuse, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables et pour une inclinaison des lames α et un angle de profil η (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_dif(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident diffus, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_ref(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du rayonnement incident réfléchi, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
$TL_{ws\_ref,dif(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse diffus du rayonnement incident réfléchi, pour une paroi vitrée avec protection mobile à lames orientables, pour une inclinaison de lames α (norme XP P50-777)
η ou γ'	°	Angle de profil (norme XP P50-777), aussi qualifié de hauteur de soleil corrigée
α	°	Angle d'inclinaison des lames de la protection mobile à lames inclinées
$Tli_{ap\_dir,b}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct pour la partie de la baie vitrée b
$Tld_{ap\_dif,b}$	/	flux incident diffus de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
$Tld_{ap\_ref,b}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la partie avec protection mobile de la baie vitrée b
$Tlid_{ap\_dir,b}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place
$Tlid_{ap\_ref,b}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi par le sol sous forme directe, transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place
$Tli_{ap\_dir,b(\eta,\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident direct de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une hauteur du soleil η et une inclinaison des lames du store vénitien α (SV donnée).
$Tlid_{ap\_dir,b(\eta,\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec une protection solaire en place, pour une hauteur du soleil η et une inclinaison des

		lames du store vénitien α donnée.
$Tld_{ap\_dir,b(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident direct transmis sous forme diffuse pour la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α
$Tld_{ap\_ref,b(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse global du flux incident réfléchi de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α donnée.
$Tlid_{ap\_ref,b(\alpha)}$	/	Facteur de transmission lumineuse du flux incident réfléchi transmis sous forme diffuse de la baie vitrée b avec protection mobile en place, pour une inclinaison des lames du store vénitien α donnée.
R^{fl}_{dir}	/	Pourcentage d'éclairement direct du soleil par rapport à l'éclairement global atteignant la baie.
K	/	Coefficient de forme caractérisant la baie
L	**m**	Largeur de la baie
H	**m**	Hauteur de la baie
e	**m**	Epaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie
$F^{fl}_{bati\_dir}$	/	Coefficient de correction pour l'éclairement direct du soleil
$F^{fl}_{bati\_dif}$	/	Coefficient de correction pour l'éclairement diffus du ciel et du sol
$F^{fl}_{riv\_dir}$	/	Coefficient de correction des facteurs de transmission lumineuse pour la prise en compte de l'incidence variable sur le vitrage, dans le cas de l'éclairement direct du soleil.
$F^{fl}_{riv\_dif}$	/	Coefficient de correction des facteurs de transmission lumineuse pour la prise en compte de l'incidence variable sur le vitrage, dans le cas de l'éclairement diffus du ciel et du sol.
l_{pp}	**m**	Longueur du masque à projection
β_{pp}	**°**	Angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection
τ_{pp}	/	Facteur de transmission lumineuse et facteur de transmission du matériau du masque à projection (ISO 52022-3)
r_{pp}	/	Coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection

Les indices de caractérisation des composants sont les suivants :

- **w** : paroi vitrée associée à ses éléments opaques sans protection rapportée en place ;
- **ws :** paroi vitrée associée à ses éléments opaques avec protection rapportée en place.

Dans le cadre du facteur de transmission lumineuse, on retient les notations suivantes :

- **sp,b :** ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, sans protection rapportée en place ;
- **ap,b** : ramené à la baie, avec prise en compte de l'intégration à l'ouvrage, avec protection rapportée en place ;
- **ouv :** fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte sans protection rapportée en place ;
- **ouvs** : fait référence à la partie de la paroi constituant la baie ouverte avec protection rapportée en place

3.1.6 FACTEURS DE TRANSMISSION SOLAIRE OU LUMINEUSE : L'APPORT DES REGLES TH-BAT

Le processus normatif évoqué précédemment n'est applicable dans son intégralité que pour des parois vitrées non diffusantes (parois transparentes), associées ou non à des protections rapportées, ce qu'on qualifiera par la suite de cas courants.

Pour ces cas courants, le contexte normatif prévoit la détermination de facteurs de transmission solaire ou lumineuse à incidence directe normale, à l'exception des parois à protections à lames inclinées[10].

Les présentes règles intègrent une méthode de correction pour prendre en compte l'incidence variable de l'éclairement pour la paroi vitrée positionnée dans des orientations et inclinaisons connues.

De plus, les normes ne font pas état de l'intégration du composant à l'ouvrage, d'où la nécessité de définir des coefficients de correction pour :

- La présence d'un masque à projection ou d'un brise-soleil à lames fixes inclinées,
- L'impact des masques liés à l'épaisseur de la paroi opaque.

Enfin, les cas particuliers qui n'entrent pas dans le contexte normatif, tels les lanterneaux ou les parois en matériau polycarbonate, sont traités de manière simplifiée dans le chapitre afférent des présentes règles.

Les présentes règles, et plus généralement les règles Th-Bât, viennent se positionner de la manière suivante vis-à-vis des normes précédemment évoquées :

Tableau 13 : Cohérence des textes normatifs et des règles Th-Bât

	Echelle du composant au bâtiment	Facteur de transmission solaire et lumineuse
Composants	**Matériau transparent ou translucide**	EN 410 et ISO 52022-3
	Protection rapportée	EN 14500 et 14501
	Cadre et coffre	XP P50-777
	Elément opaque	XP P50-777
Assemblage de composants	**Matériau transparent et protection rapportée**	ISO 52022-3
	Parois transparentes ou translucides	XP P50-777
Intégration dans l'ouvrage	**Paroi vitrée dans l'ouvrage**	**Règles Th-bat - Parois vitrées**
Impact sur l'ambiance intérieure et les besoins en énergie	**Bâtiment ou partie de bâtiment**	Méthode pour l'application des règlementations thermiques (exemple : Th-BCE)

[10] *Pour les parois à protections à lames inclinées, les incidences directes quelconques dans le plan perpendiculaire à la paroi, diffuse et réfléchie font également l'objet d'une caractérisation.*

Dans les limites du domaine d'application évoquées ci-dessus, les résultats de l'application des normes sont les suivants :

Tableau 14 : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées nues ou munies de protection mobile autre qu'à lames inclinées

Incidence	*Composante intérieure*	*Paroi vitrée*			
		Sans protection rapportée en place (nue)		*Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées*	
		C	*E*	*C* (1)	*E*
Directe normale	**Global**	S^{C}_{w}	S^{E}_{w}	S^{C}_{ws}	S^{E}_{ws}
	1 : CLO	S^{C}_{w1}	S^{E}_{w1}	S^{C}_{ws1}	S^{E}_{ws1}
	2 : GLO et convective	S^{C}_{w2}	S^{E}_{w2}	S^{C}_{ws2}	S^{E}_{ws2}
	3 : lame d'air intérieure ventilée	S^{C}_{w3}	S^{E}_{w3}	S^{C}_{ws3}	S^{E}_{ws3}

(1) Les facteurs solaires avec protection, en condition C, ne sont pas utiles pour les calculs règlementaires.

Tableau 15 : Résultats d'application des normes de détermination des facteurs solaires pour les parois vitrées munies de protection mobile à lames inclinées

Composante intérieure	*Incidence*	*Paroi vitrée*	
		Avec protection rapportée à lames inclinées en place	
		C (1)	*E*
Global	*Directe quelconque*	$S^{C}_{ws,dir}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws,dir}(\eta,\alpha)$
	Diffuse	$S^{C}_{ws,dif}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws,dif}(\eta,\alpha)$
	Réfléchie	$S^{C}_{ws,ref}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws,ref}(\eta,\alpha)$
1 : CLO	*Directe quelconque*	$S^{C}_{ws1,dir}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws1,dir}(\eta,\alpha)$
	Diffuse	$S^{C}_{ws1,dif}(\alpha)$	$S^{E}_{ws1,dif}(\alpha)$
	Réfléchie	$S^{C}_{ws1,ref}(\alpha)$	$S^{E}_{ws1,ref}(\alpha)$
2 : GLO et convective	*Directe quelconque +Diffuse +Réfléchie*	$S^{C}_{ws2}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws2}(\eta,\alpha)$
3 : lame d'air intérieure ventilée		$S^{C}_{ws3}(\eta,\alpha)$	$S^{E}_{ws3}(\eta,\alpha)$

(1) Les facteurs solaires avec protection, en condition C, ne sont pas utiles pour les calculs règlementaires.

Tableau 16 : Résultats d'application des normes pour les parois vitrées

Incidence	*Composante intérieure*	*Paroi vitrée*		
		Sans protection rapportée en place (nue)	*Avec protection rapportée en place autre qu'à lames inclinées*	*Avec protection rapportée à lames inclinées en place*
Directe normale	**Global**	TL_w	TL_{ws}	$TL_{ws\_dir}(\eta=0, \alpha)$
	Diffusé	$TL_{w\_n,dif}$	$TL_{ws\_n,dif}$	$TL_{ws\_dir,dif}(\eta=0, \alpha)$
Directe quelconque dans le plan vertical perpendiculaire à la paroi	**Global**			$TL_{ws\_dir}(\eta,\alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws\_dir,dif}(\eta,\alpha)$
Diffuse	**Global**			$TL_{ws\_dif}(\alpha)$
Réfléchie	**Global**			$TL_{ws\_ref}(\alpha)$
	Diffusé			$TL_{ws\_ref,dif}(\alpha)$

Les présentes règles aboutissent à partir de ces données d'entrée aux résultats du produit intégré dans son ouvrage qui sont déterminés conformément aux paragraphes 3.3.2 et 3.3.3.

3.2 Méthodes de calcul des parois vitrées par procédé

Les paragraphes ci-après détaillent, pour chaque procédé de paroi vitrée ou translucide, les méthodes de calcul du coefficient de transmission thermique U, du facteur solaire S et du facteur de transmission lumineuse Tl, avec et sans protection solaire.

Les coefficients de prise en compte de l'intégration dans l'ouvrage de ces procédés sont détaillés dans les paragraphes 3.3.1 (pour la transmission thermique), le paragraphe 3.3.2 (pour le facteur solaire) et le paragraphe 3.3.3 (pour la transmission lumineuse).

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après est la mesure de la paroi vitrée ou de ses composants conformément aux normes d'essai citées au paragraphe 3.1.4. Cependant les résultats de mesure à la boite chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent, par conséquent, être étendus à d'autres parois ou composants similaires.

Lorsqu'un calcul est réalisé les règles d'arrondi à utiliser sont précisées au paragraphe 3.2.17.

3.2.1 FENETRES ET PORTES-FENETRES

3.2.1.1 *Coefficient de transmission thermique U_w des fenêtres et portes-fenêtres sans protection*

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre nue est à déterminer selon la norme produit harmonisée européenne NF EN 14351-1.

Dans le cas où la valeur de transmission thermique est déterminée par calcul (selon la norme de calcul NF EN ISO 10077-1), des hypothèses de calcul et des règles de présentation des résultats, qui précisent celles indiquées dans la norme, sont à utiliser (cf. paragraphes 3.2.1.1.1 et 3.2.1.1.2).

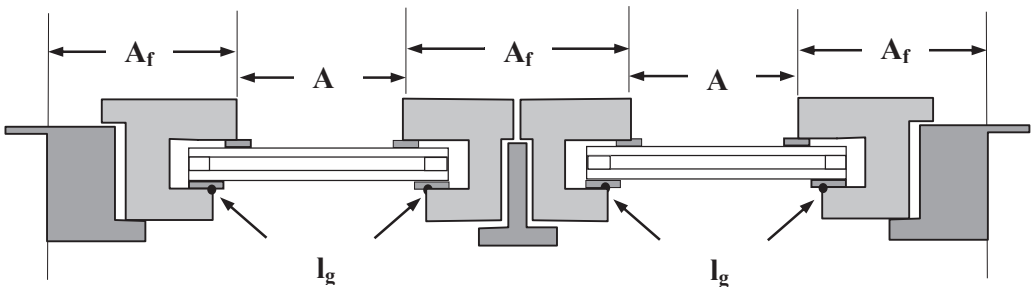


Figure 14 : Dimensions des différents composants de la fenêtre

Pour rappel, le principe du calcul du coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre ou de la porte-fenêtre peut être calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \psi_g l_g}{\sum A_g + \sum A_{fi}} \qquad \text{(Formule 8) ;}$$

où

A_g est la plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

A_{fi} est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrements (incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle), vue des deux côtés de la paroi, en m^2. La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre.

l_g est la plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux côtés de la paroi en m.

U_g est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage, en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul détaillée du coefficient U_g du vitrage isolant est décrite dans la norme NF EN 673. En cas de parois vitrées inclinées, une valeur de U_g en position horizontale est également requise en plus de la valeur de U_g en position verticale.

U_{fi} est le coefficient surfacique de la menuiserie du montant ou de la traverse numéro i, en $W/(m^2.K)$. Le coefficient U_{fi} de la menuiserie peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.

ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en W/(m.K). Il peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.

Lorsque le vitrage est remplacé en partie par un panneau opaque, U_w doit être calculé par la formule ci-après :

$$U_w = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum A_g + \sum A_{fi} + \sum A_p} \qquad \text{(Formule 9) ;}$$

où

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée dans le fascicule Méthode - Parois opaque.

ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en W/(m.K). Il peut être déterminé soit par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, soit par mesure directe conformément à la norme NF EN ISO 12412 – 2.

l_p est la plus grande somme des périmètres visibles du panneau, vus des deux côtés de la paroi en m.

3.2.1.1.1 *Hypothèses de modélisation*

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre.

Pour toutes les menuiseries, hormis les galandages côté refoulement, la cavité en dos de dormant est remplacée par une condition adiabatique le long de son interface avec la menuiserie, afin de tenir compte de la présence en général d'un isolant thermique au droit du dormant.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen U_w, sont les dimensions hors tout de la fenêtre ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure (cf. Figure 14).

La conductivité thermique des matériaux doit être déterminée à partir de la norme NF EN ISO 10077-2 ou des valeurs par défaut données dans le fascicule Matériaux des règles Th-Bât.

Pour les matériaux (autre que les matériaux isolants manufacturés) qui ne figurent pas dans les règles Th-Bât, la conductivité thermique correspondante doit être justifiée par un rapport d'essai émanant d'un laboratoire indépendant accrédité par le COFRAC ou par un autre organisme membre de la Coopération européenne pour l'accréditation et ayant signé les accords de reconnaissance mutuelle multilatéraux couvrant l'activité de laboratoire.

Les valeurs suivantes sont extraites du fascicule Matériaux et concernent des matériaux courants utilisés pour la fabrication des éléments de parois vitrées :

Tableau 17 – Propriétés thermiques des matériaux

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m^3	Conductivité thermique W/(m.K)
Menuiserie	Alliage d'aluminium	2 800	160
	Acier	7 800	50
	Acier inox	7 900	17
	PVC (polyvinylchloride) rigide	1 390	0,17
	Épicéa, Sapin blanc, Western Red Cedar	(1)	0,11
	Acajou d'Afrique, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red, Peuplier blanc, Pin maritime, Pin noir d'Autriche et Laricio, Pin sylvestre, Western Hemlock		0,13
	Bossé clair, Châtaignier, Jequitiba, Limba / Fraké, Tauari, Tiama, Tola		0,15
	Iroko, Louro vermelho (Grignon franc),Makoré / Douka, Mengkulang (Palapi), Mengkulang (Palapi), Meranti dark red, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck		0,16
	Bintangor, Bossé foncé, Chêne (rouvre et/ou pédonculé), Curupixa, Doussié, Eucalyptus globulus, Eucalyptus grandis, Frêne, Hêtre, Kosipo, Kotibé, Merbau, Moabi, Movingui, Robinier (faux Acacia)		0,18

(1) Lorsque l'essence de bois est inconnue, on utilisera les valeurs de conductivité thermique, liées à la masse volumique moyenne ρ_n, données dans le fascicule Matériaux.

Groupe de matériau	Matériau	Masse volumique kg/m3	Conductivité thermique W/(m.K)
Verre	Verre silico-sodo-calcique	2500	1,00
Coupure thermique	Polyamide 6.6 avec 25 % de fibre de verre	1450	0,30
	Polyéthylène forte densité	980	0,50
	Polyéthylène faible densité	920	0,33
	Résine de polyuréthanne	1200	0,25
	PVC rigide	1390	0,17
Produits d'étanchéité	Néoprène	1240	0,23
	EPDM	1150	0,25
	Silicone pure	1200	0,35
	PVC souple	1200	0,14
	Brosse en polyester	-	0,14
	Mousse élastomère flexible	60-80	0,05
Produits de scellement du vitrage isolant	Polyuréthanne rigide	1200	0,25
	Butyle solide	1200	0,24
	Silicone pure	1200	0,35
	Résine de polyester	1400	0,19
	Silicagel (dessicatif)	720	0,13
	Tamis moléculaire	650-750	0,10
	Mousse de silicone de faible densité	750	0,12
	Mousse de silicone de forte densité	820	0,17
	Polysulfure	1700	0,40

3.2.1.1.2 *Présentation des résultats*

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des informations suivantes :

- le détail côté ou à l'échelle des profilés et du panneau de remplissage ;
- le maillage pratiqué sur l'ensemble du modèle ;
- la conductivité thermique des matériaux utilisés. ;
- l'émissivité normale des surfaces internes des cavités, si des valeurs inférieures à 0,9 sont utilisées ;
- les conditions aux limites : plans adiabatiques, températures d'ambiances et résistances superficielles correspondantes ;
- le flux de chaleur total, en W/m ;
- le coefficient surfacique des profilés de la menuiserie exprimé avec deux chiffres significatifs, en W/(m^2.K) ;
- La méthode utilisée pour le traitement des cavités d'air.

3.2.1.2 *Coefficient de transmission thermique U_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres avec protection*

Ce paragraphe donne la méthode de calcul du coefficient U_{ws} des parois vitrées équipées de protection mobile, type fermeture ou store, selon la norme NF EN ISO 10077-1 à partir du coefficient U_w de la fenêtre nue (norme 10077-1) et de la résistance thermique additionnelle ΔR (norme NF EN 13125).

Le coefficient U_{ws} des fenêtres équipées d'une fermeture extérieure ou d'un store intérieur, extérieur ou entre vitrages est donné par la formule :

$$U_{ws} = \frac{1}{(1/U_w + \Delta R)}$$ (Formule 10) ;

où

U_w est le coefficient de transmission thermique U de la paroi vitrée, en W/(m².K), donné au paragraphe 3.2.1.1 ;

ΔR est la résistance thermique additionnelle, en m².K/W, apportée par l'ensemble fermeture ou store – lame d'air ventilée.
Les valeurs de ΔR, d'une fermeture extérieure ou d'un store intérieur, extérieur ou entre vitrages (sans revêtement à faible émissivité), sont calculées conformément à la norme NF EN 13125. Des valeurs par défaut, pour les fermetures extérieures, sont données dans le document Applications – Parois vitrées.
Dans le cas d'une fermeture extérieure avec revêtement à faible émissivité, la résistance thermique additionnelle ΔR se calcule selon la méthode ci-dessous :

La résistance thermique additionnelle apportée par une fermeture possédant une face faiblement émissive côté lame d'air se calcule en fonction de sa classe de perméabilité à l'air telle que définie dans la norme NF EN 13125:

- Classe 3 ou inférieure : l'effet de la couche basse émissivité est négligeable du fait des circulations d'air importantes. Le calcul de la résistance thermique additionnelle ΔR se fait alors conformément à la méthode des fermetures extérieures de la norme NF EN 13125.
- Classe 4 : Fermetures de faible perméabilité :

$$\Delta R = 0{,}80 \times (R_s + R_{g\varepsilon})$$ (Formule 1) ;

- Classe 5 : Fermetures de très faible perméabilité :

$$\Delta R = 0{,}95 \times (R_s + R_{g\varepsilon})$$ (Formule 2) ;

Où :

R_s Résistance thermique intrinsèque de la fermeture, en m².K/W,

$R_{g\varepsilon}$ Résistance thermique de la lame d'air non ventilée et intégrant la face faiblement émissive, calculée selon le document Méthodes - Parois opaques. L'émissivité utile ε_u de la face intérieure de la fermeture doit être calculée de la manière suivante :

- $\varepsilon_u = \varepsilon_c$, si ε_c est une valeur d'émissivité suivie dans le cadre d'une certification de type NF 202 de la marque NF FERMETURES ou équivalent.
- ε_u =1,15 x Max(0,27 ; ε_d), si ε_d est la valeur déclarée par le fabricant, déterminée conformément à la norme NF EN 15976

Le tableau suivant indique les résistances thermiques de la lame d'air non ventilée intégrant la face faiblement émissive $R_{g\varepsilon}$ en fonction de l'émissivité utile ε_u :

Tableau 18 : Résistances thermiques de la lame d'air non ventilée intégrant la face faiblement émissive $R_{g\varepsilon}$ en fonction de l'émissivité utile ε_u

ε_u	$R_{g\varepsilon}$ (m².K/W)
0,27	0,34
0,30	0,33
0,35	0,30
0,40	0,28
0,50	0,25
0,90	0,17

3.2.1.3 *Facteur de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres et portes-fenêtres*

Les facteurs solaires de la fenêtre nue et de la fenêtre avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.1.4 *Facteur de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres et portes fenêtres*

Les facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre nue et de la fenêtre avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.2 FENETRES DE TOIT

3.2.2.1 *Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres de toit*

Dans le cadre d'un calcul de consommation ou de confort à l'échelle du bâtiment, il est nécessaire de fournir des valeurs de coefficients U_w à l'horizontale (noté $U_{w,0°}$ dans la suite du paragraphe) et une valeur à la verticale (noté $U_{w,90°}$ dans la suite du paragraphe). Il en va de même pour les coefficients U_{ws}.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul des coefficients surfaciques moyens U_w sont les dimensions hors tout de la fenêtre de toit, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure.

- Coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90°}$:

Le coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90°}$ de la fenêtre est à déterminer selon la norme produit harmonisée européenne NF EN 14351-1.

Lors du calcul du coefficient de transmission thermique $U_{w,90°}$ (selon la norme de calcul NF EN ISO 10077-1), les conditions adiabatiques, utilisées pour le calcul des U_{fi} et Ψ_{gi} selon la norme NF EN ISO 10077-2, doivent être positionnées entre le cadre et l'isolation de la toiture. De plus, le coefficient de transmission thermique U_f du cadre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre de toit.

- Coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0°}$:

Le coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0°}$ de la fenêtre est à déterminer par calcul selon la norme NF EN ISO 10077-1. Les conditions adiabatiques, utilisées pour le calcul des U_{fi} et Ψ_{gi} selon la norme NF EN ISO 10077-2, doivent être positionnées entre le cadre et l'isolation de la toiture. De plus, le coefficient de transmission thermique U_f du cadre est déterminé en considérant que la largeur des montants en partie courante se prolonge sur toute la hauteur de la fenêtre de toit.

A défaut de donnée disponible pour réaliser le calcul détaillé précédent, le coefficient de transmission thermique en position horizontale $U_{w,0°}$ de la fenêtre se déduit du coefficient de transmission thermique en position verticale $U_{w,90°}$ par la formule suivante :

$$U_{w,0°} = 1,6 \times U_{w,90°} \qquad \text{(Formule 3) ;}$$

Note : les valeurs thermiques utiles présentes dans les ATEC et DTA des fenêtres de toit sont calculées conformément aux conventions précédentes.

3.2.2.2 *Facteur de transmission solaire S_w et S_{ws} des fenêtres de toit*

Les facteurs solaires de la fenêtre de toit nue et de la fenêtre de toit avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.2.3 *Facteur de transmission lumineuse TL_w et TL_{ws} des fenêtres de toit*

Les facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre de toit nue et de la fenêtre de toit avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.3 FENETRES A GALANDAGE

3.2.3.1 *Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des fenêtres à galandage*

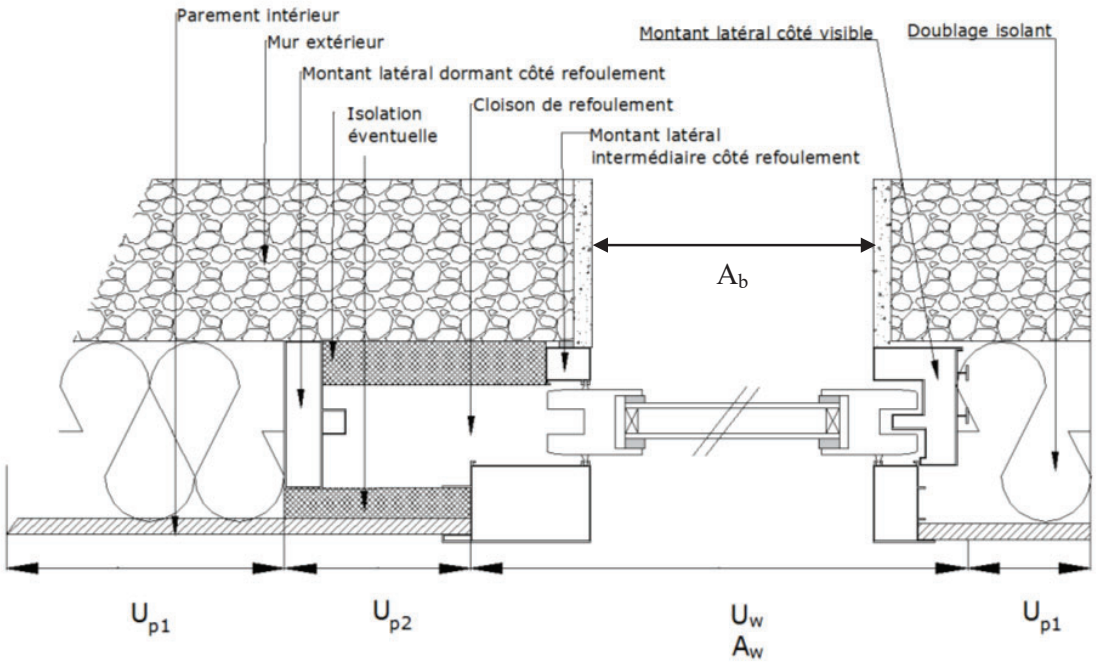


Figure 15 : Schéma d'une fenêtre à galandage

Le coefficient de transmission thermique $U_{w,\ baie}$ d'une fenêtre à galandage à renseigner pour la baie dans la méthode de destination se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b} . U_w$$

Où :

A_w : Surface dos de dormant de la fenêtre à galandage (voir schéma)

A_b : Surface de la baie (voir schéma)

U_w : Coefficient de transmission thermique de la fenêtre à galandage nue, calculé selon la formule :

$$U_w = \frac{U_g \times A_g + \sum_i U_{fi} \times A_{fi} + \sum_i \psi_{gi} \times l_{gi}}{A_g + A_f}$$ W/(m^2.K) (Formule 11) ;

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie vitrée, en W/(m^2.K) :
- A_g : la plus petite surface de vitrage vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2,

- U_{fi} : coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i, en W/(m^2.K) : ce coefficient est calculé par une méthode numérique aux éléments finis.

  Le calcul particulier du montant latéral intermédiaire côté refoulement est expliqué ci-dessous ;

- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i, en m². La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;

- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m² ;

- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique dû à l'effet thermique entre le vitrage et la menuiserie, en W/(m.K) ;

- l_g : le plus grand périmètre du vitrage vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m.

Définition largeur b_f :

- Cas où le profilé côté intérieur est plus large que celui du côté extérieur :

Seuls les éléments de recouvrements ne sont pas pris en compte dans la largeur b_f du profilé :

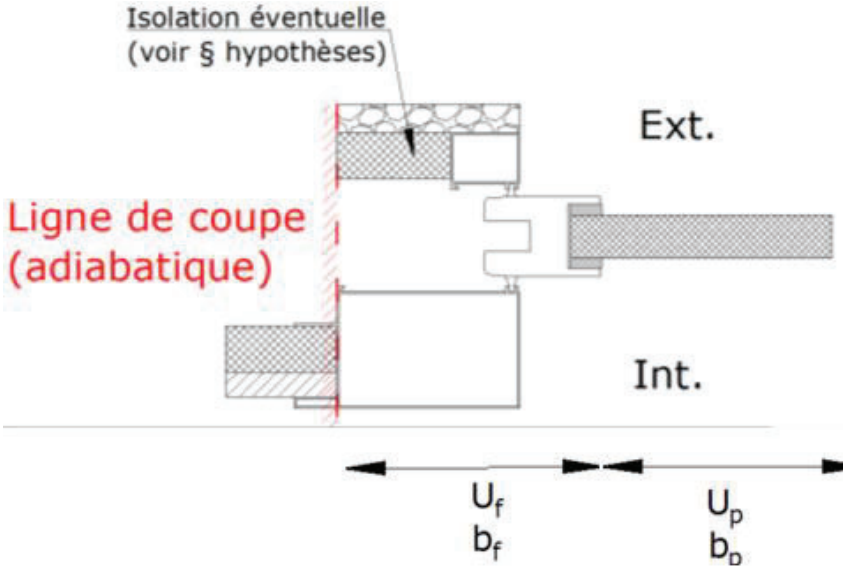


Figure 16 : Définition de la largeur b_f (profilé intérieur plus large que celui à l'extérieur)

Dans le cas général, la ligne de coupe sera placée au droit du parement intérieur à condition que cette dernière ne supprime aucun autre élément des profilés dormant ou ouvrant.

- Cas où le profilé côté extérieur est plus large que celui du côté intérieur :

Les éléments de recouvrements du mur extérieur (gros œuvre) ne sont pas pris en compte dans la largeur b_f à condition que la largeur de la zone de contact entre le dormant et le mur soit supérieure à 28 mm (conformément au DTU 36-5 P1-1). Cette découpe est possible uniquement si la ligne de coupe ne supprime aucun autre élément des profilés dormant ou ouvrant :

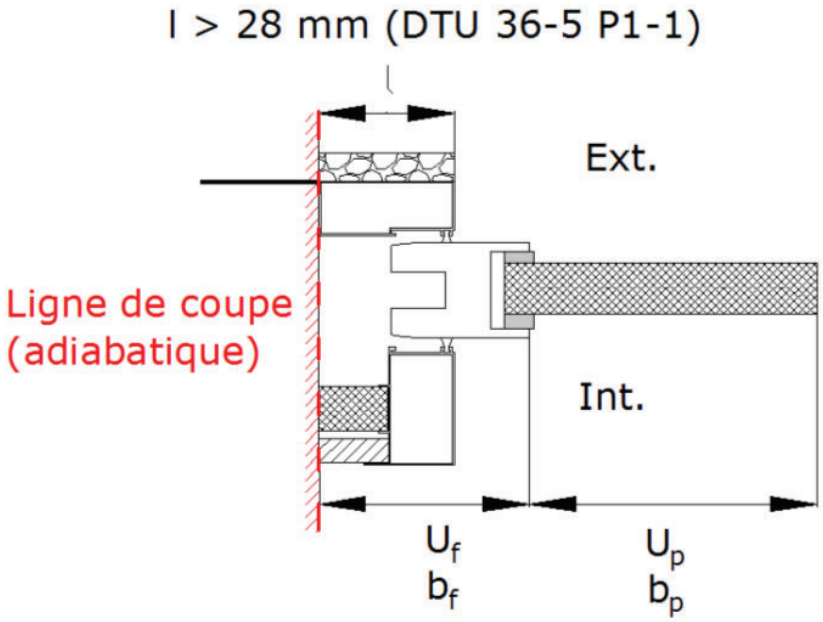


Figure 17 : Définition de la largeur b_f (profilé extérieur plus large que celui à l'intérieur)

Cas du montant intermédiaire côté refoulement :

Le profilé de refoulement est découpé en deux parties, l'une contient le vitrage, l'autre contient le doublage isolant.

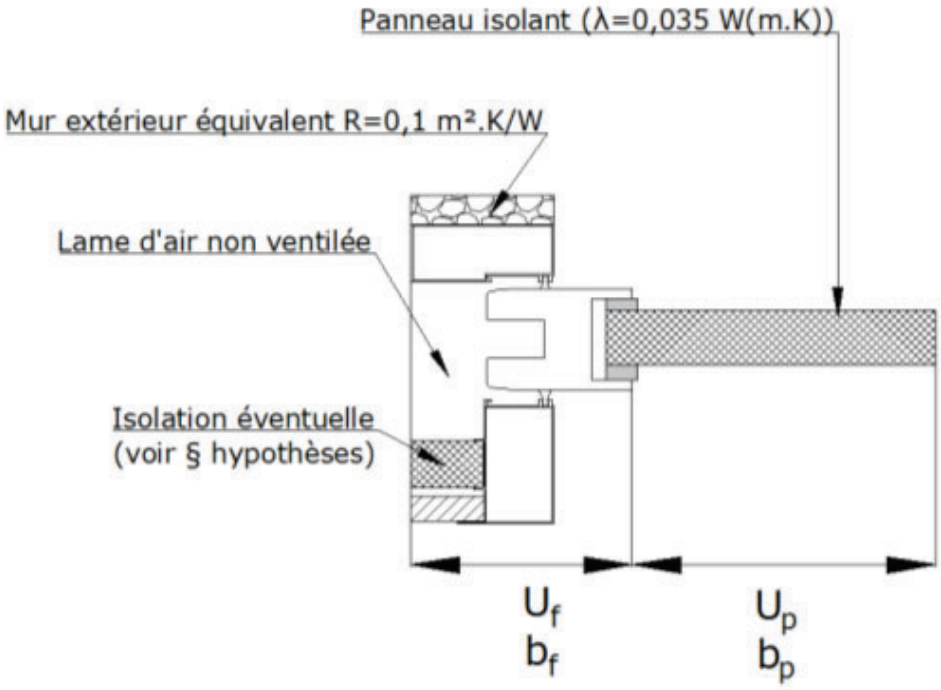


Figure 18 : Définition de la largeur bf du montant intermédiaire côté refoulement

On détermine un coefficient U_f du profilé de refoulement en remplaçant le vitrage par un isolant et le mur extérieur par un mur équivalent de résistance thermique égale à 0,1 m².K/W (e=10 mm - λ = 0,1 W/(m.K)).

$$U_f = \frac{\frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_p \times b_p}{b_f}$$ W/(m².K) (Formule 4) ;

avec :

- φ_1 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique du panneau isolant en W/(m^2.K), (avec une conductivité thermique de 0,035 W/(m.K)) remplaçant le vitrage ;
- b_p : le plus grand périmètre visible de panneau vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m ;
- b_f : la largeur projetée de la menuiserie en m.

Cas du montant latéral dormant côté refoulement :

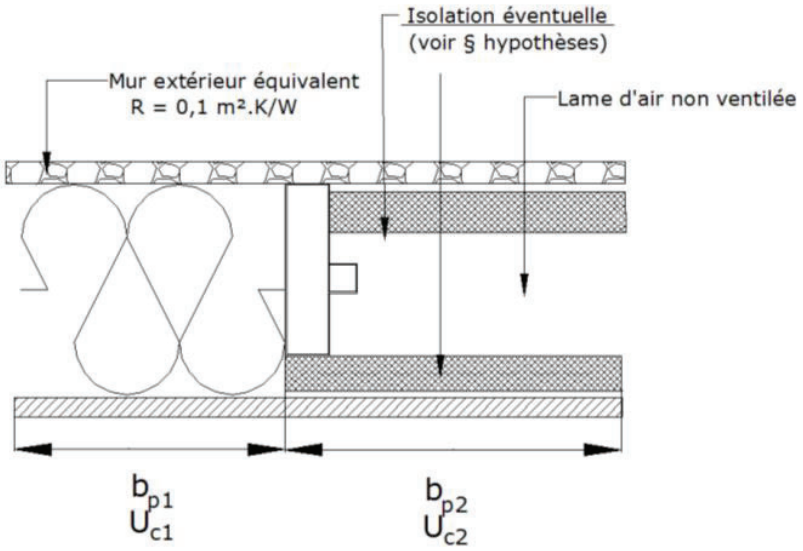


Figure 19 : Convention de calcul du montant latéral dormants

La déperdition liée au montant latéral dormant côté refoulement est prise en compte dans un pont thermique intégré, à travers un coefficient Ψ_r calculé à l'aide de la formule suivante :

$$\Psi_r = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - U_{c1} \times b_{p1} - U_{c2} \times b_{p2} \qquad \text{W/(m.K)} \qquad \text{(Formule 12) ;}$$

Avec :

- φ_2 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_{c1}: coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la paroi opaque en W/(m^2.K) ;
- U_{c2}: coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la cloison de refoulement en W/(m^2.K) ;
- b_{p1} : linéaire de paroi opaque en m, avec $b_{p1} \geq 250$ mm ;
- b_{p2} : linéaire de cloison de refoulement en m, avec $b_{p2} \geq 250$ mm.

Valeurs par défaut du coefficient Ψ_r :

	Coefficient Ψ_r en W/m.K	
Coupes côté refoulement	**Profilé sans rupture thermique**	**Profilé avec rupture thermique**
Montant latéral, Traverse haute, Traverse basse	0,20	0,15

Nota: Ce coefficient Ψ_r n'est pas pris en compte dans le coefficient U_w de la fenêtre à galandage mais dans le coefficient U_{p2} de la cloison de refoulement.

Le coefficient de transmission thermique U_{p2} de la cloison de refoulement est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$U_{p2} = U_{c2} + \frac{\Psi_r \times H}{A_{p2}} \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 13) ;}$$

Avec :

- U_{c2}: coefficient surfacique de transmission thermique en partie courante de la cloison de refoulement en W/(m^2.K) ;
- Ψ_r : coefficient de déperdition linéique lié au montant latéral (ou à la traverse haute ou basse) dormant côté refoulement en W/(m.K) ;
- H : hauteur du montant latéral dormant côté refoulement en m ;
- A_{p2} : surface de la cloison de refoulement.

Hypothèses :

On détermine la résistance thermique équivalente de la lame d'air non ventilée selon le document Méthodes - Parois opaques des règles Th-Bât.

De plus, on remplace la paroi extérieure en contact avec le profilé par un mur extérieur équivalent avec e=10 mm - λ = 0,1 W/(m.K).

On utilise une conductivité thermique par défaut pour le parement intérieur à 0,25 W/(m.K) et 0,035 W/(m.K) pour le doublage isolant.

En présence d'une isolation éventuelle de la paroi côté refoulement, on distinguera deux cas :

- Le refoulement est pré-isolé par le fabricant : on utilise la conductivité thermique réelle de l'isolant conformément aux règles Th-Bât.

- Le refoulement n'est pas pré-isolé par le fabricant : on utilise une conductivité thermique par défaut de l'isolant à 0,035 W/(m.K).

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la fenêtre à galandage avec sa protection se calcule selon le §3.2.1.2.

Nota : Dans le cas d'un procédé de galandage, la surface A_w est très différente de la surface de la baie A_{baie}. La connaissance de la surface A_w est indispensable pour la détermination des coefficients U_w, d'un procédé de galandage.

3.2.3.2 *Méthode de calcul S_w et TL_w pour les fenêtres à galandage*

Facteur solaire et transmission lumineuse d'une fenêtre à galandage à incidence normale

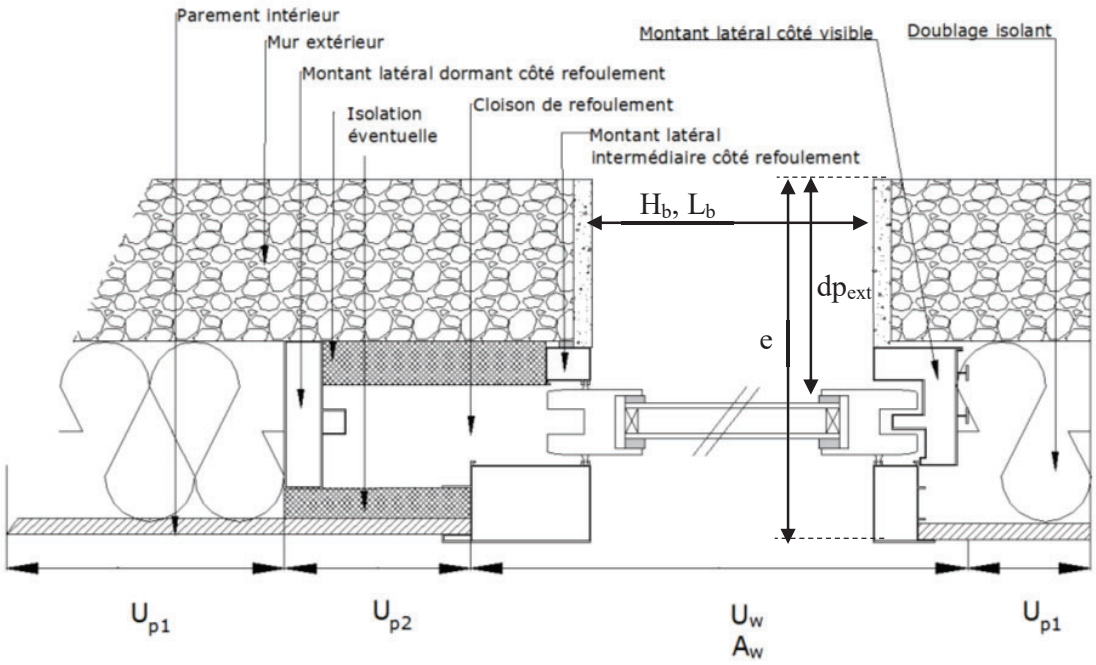


Figure 20 : Schéma d'une fenêtre à galandage

Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{w,baie}$ et $TL_{w,baie}$ d'une fenêtre à galandage à renseigner dans la méthode de destination, se calculent à partir des formules suivantes :

$$S_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b}.S_w$$

$$TL_{w,baie} = \frac{A_w}{A_b}.TL_w$$

$$S_{ws,baie} = \frac{A_w}{A_b}.S_{ws}$$

$$TL_{ws,baie} = \frac{A_w}{A_b}.TL_{ws}$$

Où :

A_w : Surface dos de dormant de la fenêtre à galandage (voir schéma)

A_b : Surface de la baie (voir schéma)

S_{ws}, TL_{ws}, S_w, TL_w : Facteurs de transmission solaire et lumineuse de la fenêtre à galandage nue, avec ou sans protection solaire et à incidence normale calculés à partir de la norme XP 50-777 en considérant les valeurs de A_g, A_{fi} et U_{fi} déterminées par le paragraphe 3.2.3.1. du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée.

Les apports solaires par les éléments de doublage et la cloison de refoulement doivent être pris en compte séparément, conformément au paragraphe 4.3.1.3 du Fascicule Méthode Paroi Opaque.

Intégration dans l'ouvrage

Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une fenêtre à galandage à incidence normale doivent être corrigés pour tenir compte de l'intégration de cette fenêtre dans le mur. La correction se fait conformément au paragraphe 3 du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée. Les facteurs de formes Ks et K se calculent à partir des dimensions représentées sur la figure précédente et des formules suivantes :

$$K = \frac{L_b . H_b}{e.(L_b + H_b)}$$

$$K_s = \frac{L_b . H_b}{dp_{ext}.(L_b + H_b)}$$

Où :

L_b, H_b Largeur et hauteur de la baie, c'est-à-dire l'ouverture ménagée dans la paroi extérieure (définition complète au paragraphe 3.1.5.1), en m.

dp_{ext} Distance entre le plan extérieur de la paroi transparente (vitrage) et le plan extérieur de la paroi opaque, isolation comprise, en m.

e Epaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie, isolation comprise (distance entre le plan intérieur du mur et le plan extérieur du mur), en m.

3.2.4 DOUBLES FENETRES, DOUBLES PORTES OU DOUBLES PORTES-FENETRES

3.2.4.1 ***Coefficients de transmission thermique U_w et U_{ws} des doubles fenêtres, doubles portes ou doubles portes-fenêtres***

Il s'agit d'un système constitué de deux fenêtres, deux portes ou deux portes-fenêtres, séparées par une lame d'air. Le coefficient surfacique moyen U_w résultant se calcule en fonction des coefficients surfaciques individuels des deux parois U_{w1}, U_{w2} et de la résistance thermique de la lame d'air R_s :

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - (R_{si} + R_{se}) + R_s + \frac{1}{U_{w2}}} \qquad \text{(Formule 14) ;}$$

R_{si} et R_{se} étant les résistances superficielles, intérieures et extérieures, respectivement égales à 0,13 m².K/W et 0,04 m².K/W.

Cette méthode n'est pas applicable lorsque la lame d'air communique avec l'extérieur par le biais d'ouvertures dont l'aire équivalente dépasse 500 mm² par mètre de longueur de paroi pour les lames verticales (pour une lame horizontale consulter le document Méthodes - Parois opaques), sans qu'aucune disposition ne soit entreprise pour limiter les échanges d'air avec l'extérieur.

Pour une épaisseur de la lame d'air comprise entre 25 et 300 mm, la résistance de la lame d'air R_s est égale à 0,18 m².K/W.

Le coefficient de transmission thermique U_{ws} de la double fenêtre, double porte ou double porte-fenêtre avec sa protection se calcule selon le §3.2.1.2.

3.2.4.2 Méthode de calcul Sw et TLw pour les doubles fenêtres

<u>Facteur solaire et transmission lumineuse de la double fenêtre seule à incidence normale</u>

Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une double fenêtre à incidence normale se calcule à partir de la formule suivante :

$$\left.\begin{array}{c} S_{w1} = \sigma_{ext}.S_{g1,eq} \\ S_{w2} = \sigma_{ext}.S_{g2,eq} + (1-\sigma_{ext}).S_{f,ext} \\ S_{w3} = 0 \end{array}\right\} S_w = S_{w1} + S_{w2} + S_{w3}$$

$$TL_w = \sigma_{ext}.TL_{g,eq}$$

$$TL_{w,dif} = 0$$

$$\left.\begin{array}{c} S_{ws1} = \sigma_{ext}.S_{gs1,eq} \\ S_{ws2} = \sigma_{ext}.S_{gs2,eq} + (1-\sigma_{ext}).S_{f,ext} \\ S_{ws3} = \sigma_{ext}.S_{gs3,eq} \end{array}\right\} S_{ws} = S_{ws1} + S_{ws2} + S_{ws3}$$

$$TL_{ws} = \sigma_{ext}.TL_{gs,eq}$$

$$TL_{ws,dif} = 0$$

Avec :
Où :

σ_{ext} est le ratio clair de la fenêtre située à l'extérieur de la double fenêtre

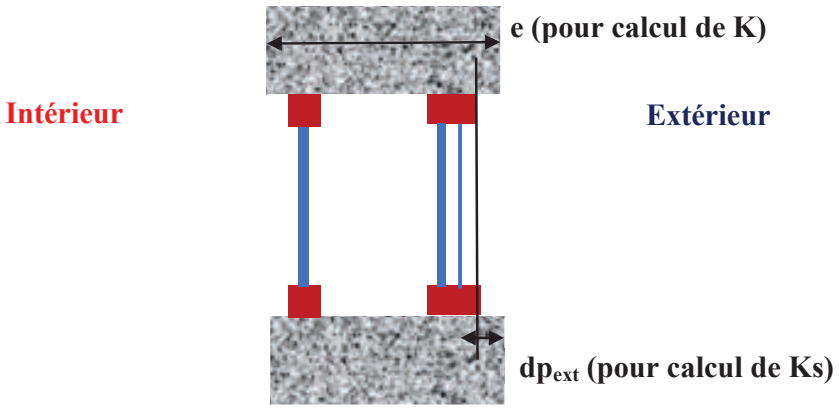
$S_{g1,eq}$, $S_{g2,eq}$ et $TL_{g,eq}$ sont les composantes directes et réémises du facteur solaire et la transmission lumineuse de l'ensemble des couches de vitrages, sans protection solaire, déterminées selon la norme NF EN ISO

52022-3. Ces valeurs se calculent à partir des propriétés optiques des verres, des dimensions des lames de gaz, en considérant la lame d'air située entre les deux fenêtres comme non ventilée.

$S_{gs1,eq}$, $S_{gs2,eq}$ et $TL_{gs,eq}$ sont les composantes directes et réémises du facteur solaire et la transmission lumineuse de l'ensemble des couches de vitrages, avec protection solaire, déterminées selon la norme NF EN ISO 52022-3. Ces valeurs se calculent à partir des propriétés optiques des verres et des protections solaires pleinement déployées, des dimensions des lames de gaz, en considérant la lame d'air située entre les deux fenêtres comme non ventilée.

Intégration dans l'ouvrage

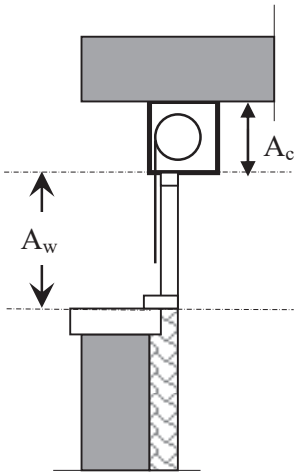
Le facteur solaire et la transmission lumineuse d'une double fenêtre à incidence normale doivent être corrigés pour tenir compte de l'intégration de la double fenêtre dans le mur. La correction se fait conformément au paragraphe 3.3 du Fascicule Méthodes Paroi Vitrée. Les épaisseurs caractéristiques à prendre en compte pour le calcul des facteurs de formes Ks et K sont représentées sur le schéma suivant :



3.2.5 BLOCS-BAIES

3.2.5.1 Coefficient ***de transmission thermique*** $U_{bb,w}$ des blocs-baies sans protection

Ce paragraphe ne concerne que les blocs-baies réalisés avec des coffres de volet roulant. On distingue deux configurations :



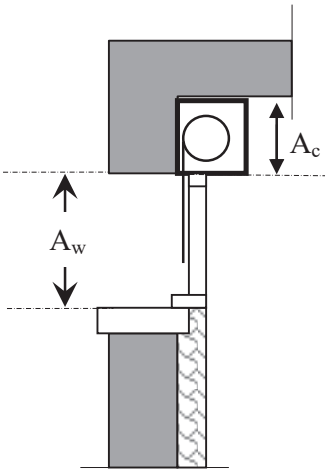


Figure 21 : Coffre de volet roulant dans la surface du tableau de la baie (à gauche)

Figure 22 : Coffre de volet roulant en applique derrière linteau (à droite)

3.2.5.1.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie

Le coefficient $U_{bb,w}$ correspondant se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{bb,w} = \frac{U_w A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \qquad \text{(Formule 15) ;}$$

où

$U_{bb,w}$ est le coefficient de transmission thermique du bloc-baie, en W/(m^2.K) ;

U_w est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre tel que défini au paragraphe 3.2.1.1, en W/(m^2.K) ;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au paragraphe 3.2.6.1.1, en W/(m^2.K) ;

A_w est l'aire projetée de la paroi vitrée, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2.

3.2.5.1.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. *Figure 22*)

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le paragraphe 3.2.6.1.2. :

$$U_{bb,w} = U_w \qquad \text{(Formule 16) ;}$$

3.2.5.2 ***Coefficient de transmission thermique $U_{bb,ws}$ des blocs-baies avec protection***

3.2.5.2.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie (cf. *Figure 21*)

Le coefficient $U_{bb,ws}$ correspondant se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{bb,ws} = \frac{U_{ws} A_w + U_c A_c}{A_w + A_c} \qquad \text{(Formule 17) ;}$$

Où

$U_{bb,ws}$ est le coefficient de transmission thermique du bloc-baie, en W/(m^2.K) ;

U_{ws} est le coefficient de transmission thermique de la fenêtre avec fermeture tel que défini au paragraphe 3.2.1.2, en W/(m^2.K) ;

U_c est le coefficient surfacique du coffre calculé au § 3.2.6.1.1, en W/(m^2.K) ;

A_w est l'aire projetée de la paroi vitrée, en m^2 ;

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2.

3.2.5.2.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau (cf. *Figure 22*)

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le § 3.2.6.1.2. :

$$U_{bb,ws} = U_{ws} \qquad \text{(Formule 5) ;}$$

3.2.5.3 *Facteurs de transmission solaire $S_{bb,w}$ et $S_{bb,ws}$ des blocs-baies*

3.2.5.3.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie

Les facteurs solaires du bloc-baie nu et du bloc-baie avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.5.3.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le § 3.2.1.3. :

$$S_{bb,ws} = S_{ws} \qquad \text{(Formule 18) ;}$$

3.2.5.4 *Facteur de transmission lumineuse $TL_{bb,w}$ et $TL_{bb,ws}$ des blocs-baies*

3.2.5.4.1 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant s'inscrit dans la surface du tableau de la baie

Les facteurs de transmission lumineuse du bloc-baie nue et du bloc-baie avec protection solaire déployée sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.5.4.2 Les blocs-baies dont le coffre de volet roulant est disposé en applique derrière le linteau

Dans ce cas, le coefficient U_{bb} ne s'applique qu'à la surface de paroi vitrée (A_w) prise sous le coffre de volet roulant. Ce dernier doit être considéré comme une paroi opaque et doit être calculé selon le § 3.2.1.4. :

$$TL_{bb,ws} = TL_{ws} \qquad \text{(Formule 19) ;}$$

3.2.6 COFFRES DE VOLET ROULANT

3.2.6.1 ***Coefficient de transmission thermique Uc des coffres de volet roulant***

3.2.6.1.1 Coffre sous dalle ou sous linteau, en contact direct avec les ambiances intérieure et extérieure du bâtiment

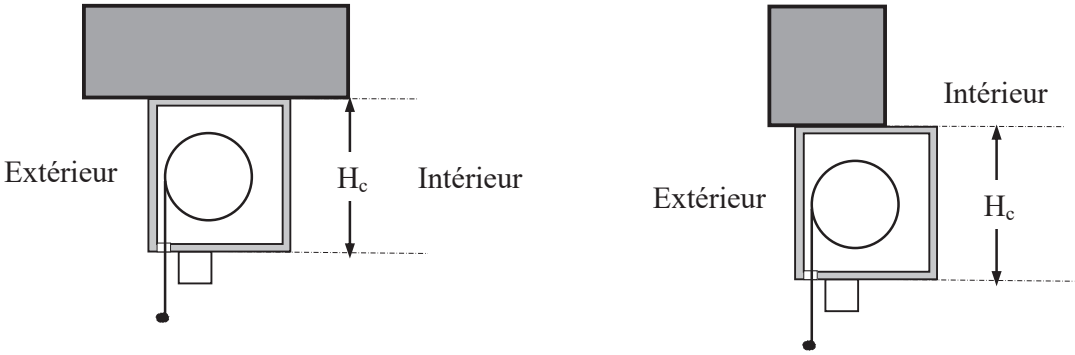


Figure 23 - Coffres sous dalle ou sous linteau

Les déperditions thermiques à travers le coffre de volet roulant, s'effectuent à travers toutes les surfaces du coffre, en contact direct avec l'ambiance intérieure du local.

Ces surfaces sont généralement :

- la face verticale intérieure du coffre ;
- la face inférieure du coffre et éventuellement une partie de sa face supérieure ;
- les deux embouts latéraux du coffre.

Le coefficient surfacique moyen du coffre U_c exprime l'ensemble de ces déperditions par unité de surface projetée du coffre et par degré d'écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure.

Le coefficient U_c se calcule d'après la formule suivante :

$$U_c = U_{c1} + U_e \frac{2\ A_e}{A_c} \qquad \text{(Formule 20) ;}$$

où

U_c est le coefficient surfacique moyen du coffre, en W/(m^2.K) ;

U_{c1} est le coefficient surfacique moyen en partie courante du coffre en W/(m^2.K) ; il doit être déterminé par calcul numérique conformément aux normes NF EN ISO 10077-2 et NF EN ISO 10211 :

$$U_{c1} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \qquad \text{(Formule 21) ;}$$

où

φ est le flux thermique en partie courante par mètre linéaire du coffre, en W/m ;

H_c est la hauteur projetée du coffre, en m ;

ΔT est la différence de température, en K.

U_e est le coefficient surfacique des embouts du coffre, en W/(m^2.K) ; il se calcule d'après la formule suivante :

$$U_e = \frac{1}{0{,}26 + \sum \frac{d_j}{\lambda_j}}$$ (Formule 22) ;

où

d_j, λ_j sont respectivement l'épaisseur en m, et la conductivité thermique en W/(m.K), de toute couche du matériau j appartenant à l'embout.

A_c est l'aire projetée du coffre, en m^2 (= $H_c \times L_c$). L_c et H_c sont respectivement la longueur et la hauteur projetée du coffre ;

A_e est l'aire de l'embout du coffre en contact directe avec l'ambiance intérieure, en m^2 :

Si l'embout est en plastique : on enlève de la surface A_e, les parties en contact avec l'isolation du coffre et du mur :

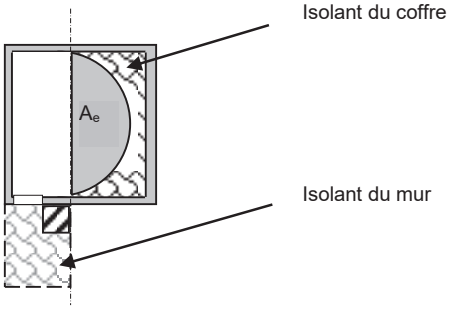


Figure 24 : Surface A_e pour un coffre derrière linteau en isolation par l'intérieur

L'embout est généralement supposé sans lame d'air isolante :

- si la séparation est métallique, celle-ci comporte des ajours et des pattes qui court-circuitent l'isolation,
- si la séparation est en matière synthétique, les mécanismes de manœuvre, souvent en matériaux conducteurs, situés dans la lame d'air dissipent son effet isolant.

Les conditions aux limites sont données ci-après :

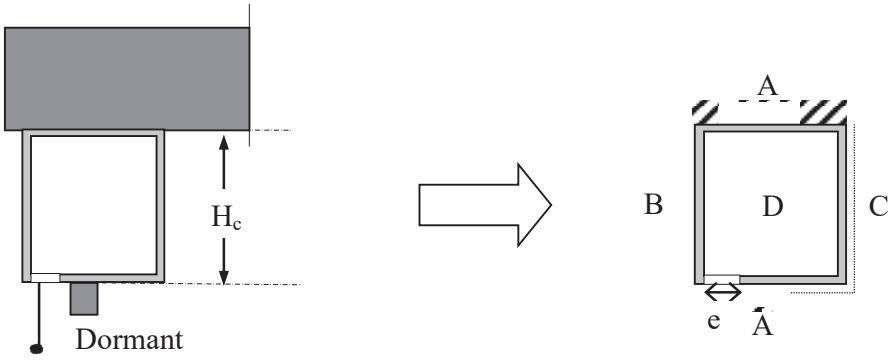


Figure 25 : Condition aux limites du coffre de volet roulant

Où :

A est la condition adiabatique aux contacts entre le coffre et :

- le dormant de la menuiserie (si largeur non connue prendre 60 mm) ;
- la paroi verticale ou horizontale ;

B est la résistance superficielle extérieure, R_{se} = 0,04 (m².K)/W ;

C est la résistance superficielle intérieure, normale, R_{si} = 0,13 (m².K)/W ;

D est la cavité du coffre considérée :
- partiellement ventilée, si e ≤ 35 mm;
- en ambiance extérieure et résistance superficielle intérieure (R_{si},T_e), si e > 35 mm ;
- non ventilée, si e = 0 ;

e est l'ouverture entre la face avant et la sous face sans prendre en compte le tablier,
sauf si le coffre a un dispositif d'étanchéité complet.

Pour le traitement des cavités, on applique la norme NF EN ISO 10077-2

3.2.6.1.2 *Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire par l'intérieure ou par l'extérieure à la paroi*

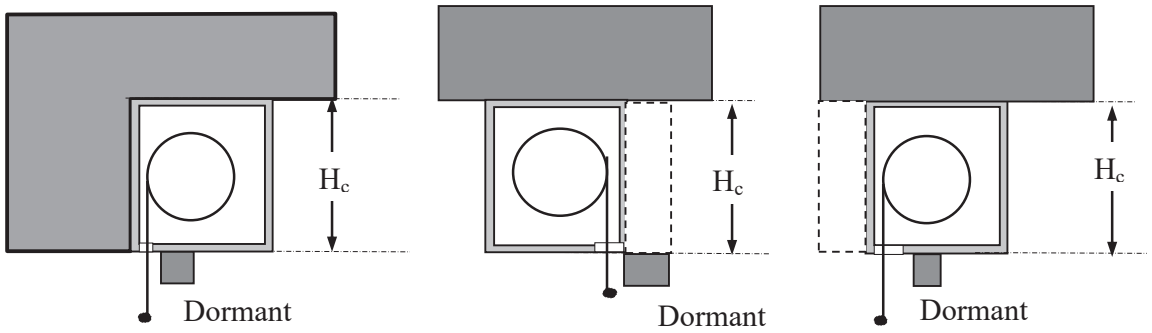


Figure 26 - Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation thermique intérieure ou extérieure

A l'endroit du coffre, on calcule un coefficient U_p de la paroi opaque intégrant le coffre. La méthode de calcul est identique à celle du coefficient U_c :

$$U_p = U_{pl} + U_e \frac{2\ A_e}{A_c} \qquad \text{(Formule 23) ;}$$

$$U_{pl} = \frac{\varphi}{H_c \times \Delta T} \qquad \text{(Formule 24) ;}$$

φ est le flux thermique à travers la surface de la paroi intégrant le coffre, exprimé par mètre linéaire de paroi, en W/m ;

U_e se calcule de la même façon qu'au paragraphe 3.2.6.1.1.

3.2.6.1.3 *Expression des résultats*

Le résultat final du coefficient U du coffre ou de la paroi intégrant le coffre, doit être arrondi à deux chiffres significatifs,

Les résultats intermédiaires (U_e, U_{p1}, U_{c1}) doivent être arrondis à trois chiffres significatifs.

3.2.6.2 *Facteur de transmission solaire Sc ou Sp des coffres de volet roulant*

3.2.6.2.1 *Coffre sous dalle ou sous linteau, en contact direct avec les ambiances intérieure et extérieure du bâtiment*

Les facteurs solaires S_c du coffre de volet roulant sous dalle ou sous linteau sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.6.2.2 *Coffre derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire par l'intérieure ou par l'extérieure à la paroi*

Dans ce cas, le coffre de volet roulant derrière linteau ou sous linteau associé à une isolation complémentaire est considéré comme une paroi opaque et les facteurs solaires S_p du coffre de volet roulant sont à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

3.2.6.3 *Facteur de transmission lumineuse* TL_c ou TL_p des coffres de volet roulant

Quel que soit le coffre de volet roulant (sous dalle, sous linteau ou derrière linteau, le coefficient de transmission lumineuse TL_c ou TL_p est pris égal à 0.

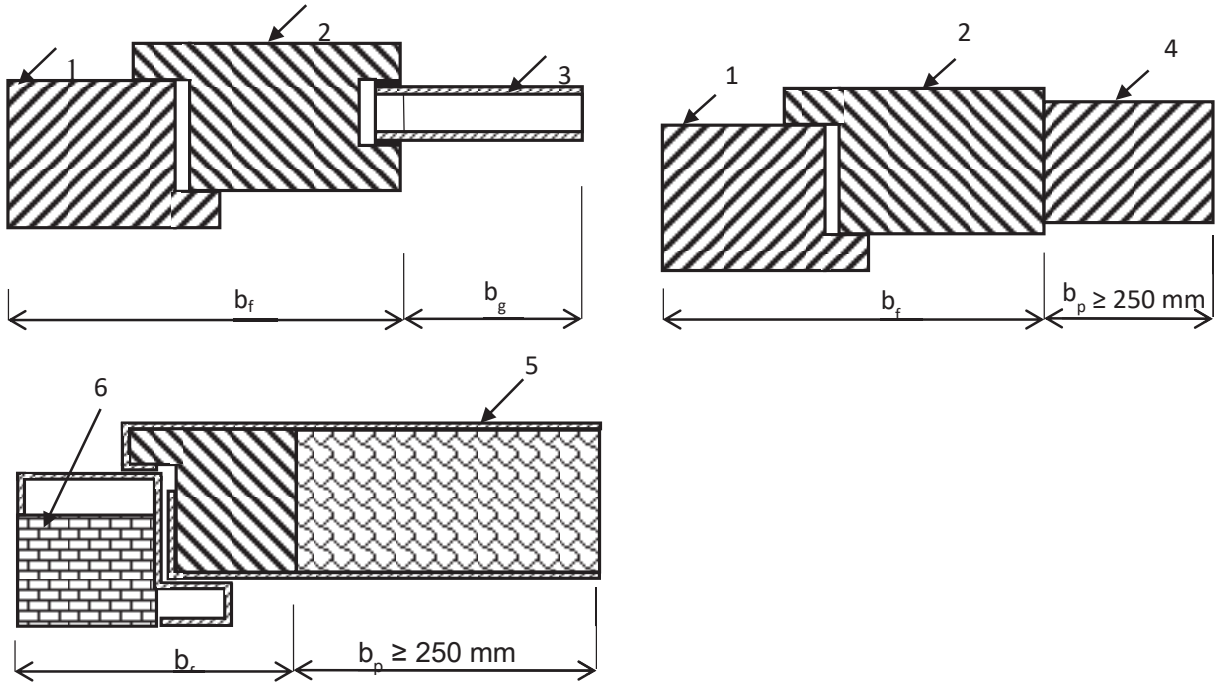
3.2.7 PORTES

3.2.7.1 *Coefficient de transmission thermique U_d*

3.2.7.1.1 *Porte d'entrée ou porte palière*

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la porte peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 10077 partie 1 et 2), soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-1. Cependant les résultats de mesure à la boite chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres portes.

De plus des valeurs par défaut sont disponibles dans le document Applications - Parois vitrées au §2.7.



Légende

1 encadrement (fixe)
2 vantail (mobile)
3 vitrage
4 panneau opaque
5 panneau opaque avec parements métalliques et isolation
6 zone adiabatique

Figure 27 : Exemple de porte intégralement vitrée ou comportant du vitrage et des panneaux opaques

Le calcul du coefficient U_d d'une porte d'entrée (ou d'une porte palière) avec vitrage et panneau opaque est réalisé selon la formule :

$$U_d = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_p A_p + \sum U_{fi} A_{fi} + \sum \Psi_g \lambda_g + \sum \Psi_p \lambda_p}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{fi}}$$ W/(m².K) (Formule 25) ;

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique utile de la partie vitrée, en W/(m^2.K) ;
- A_g : la plus petite surface de vitrage vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m^2,
- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie opaque, en W/(m^2.K). ;
- A_p : la plus petite surface de panneau opaque vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2,
- U_{fi} : coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i, en W/(m^2.K) : ce coefficient est calculé par une méthode numérique aux éléments finis. La méthode de calcul des coefficients U_{fi} est donnée ci-dessous :

$$U_{fi} = \frac{\frac{\varphi_{fi}}{\Delta T} - U_{p1} \cdot b_p}{b_{fi}} \qquad \text{W/(m}^2\text{.K)} \qquad \text{(Formule 26) ;}$$

Φ_{fi} : flux traversant le modèle du montant ou de la traverse i en W/m ;

ΔT : différence de température entre le milieu chaud et le milieu froid en K ;

U_{p1} : coefficient surfacique de transmission thermique du panneau isolant (avec une conductivité thermique de 0,035 W/m.K) remplaçant le vitrage ou le panneau opaque, en W/(m^2.K). Dans le cas de porte avec un panneau opaque comportant des parements métalliques ou un isolant de conductivité thermique inférieure à 0,035 W/m.K, on pourra modéliser le panneau opaque réel afin d'intégrer le coefficient ψ_p au coefficient U_{fi} ;

b_p : longueur de panneau non recouverte par la menuiserie dans le modèle, en m ;

b_{fi} : longueur de la menuiserie dans le modèle, en m.

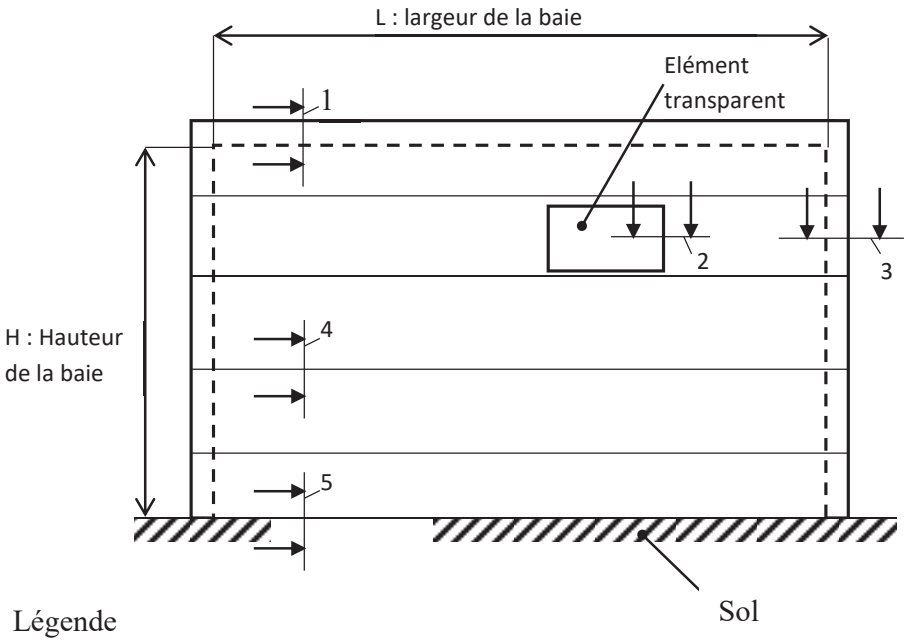
- A_{fi} : surface du montant ou de la traverse numéro i. La largeur des montants latéraux est supposée prolongée sur toute la hauteur de la fenêtre ;
- A_f : la plus grande surface de la menuiserie vue des deux côtés intérieur et extérieur, en m² ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique en W/(m.K) dû à l'effet thermique entre le vitrage et la menuiserie ou entre le vitrage et le panneau opaque. ;
- l_g : le plus grand périmètre du vitrage vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi ;
- Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique en W/(m.K) dû à l'effet thermique entre le panneau opaque et la menuiserie. Ce coefficient Ψ_p est considéré nul si il a été précédemment intégré dans le calcul du coefficient U_{fi} (cf. définition du coefficient U_{p1}) ;
- l_p : le plus grand périmètre du panneau opaque vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m.

Nota 1 : Le coefficient ψ_p est égal à zéro si la conductivité thermique du matériau des parements (intérieur et extérieur) et celle de tout matériau créant un pont thermique au bord du panneau a une valeur inférieure à 0,5 W/(m.K).

Nota:2 : Dans le cas, d'une porte palière, on considérera l'ambiance extérieure comme un local non chauffé avec T_e=0°C et h_e=7,7 W/m^2.K.

3.2.7.1.3 *Porte industrielle ou porte de garage*

Le coefficient de transmission surfacique moyen d'une porte industrielle ou d'une porte de garage peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après (conforme à la norme NF EN ISO 12428), soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-1. Cependant les résultats de mesure à la boite chaude gardée ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres portes.



Légende

1 Espace entre le bord supérieur de la porte et la baie
2 Jonction autour de l'élément transparent et du panneau
3 Espace entre le côté de la porte et la baie
4 Jonction entre les panneaux
5 Espace entre le bord inférieur de la porte et le sol

Figure 28 : Schéma d'une porte industrielle ou d'une porte de garage (vue de l'intérieur)

Le calcul du coefficient U_d d'une porte industrielle ou d'une porte de garage est réalisé selon la formule :

$$U_d = \frac{U_g A_g + U_p A_p + \Psi_{jonction}\lambda_{jonction}}{A_g + A_p} + \Delta U_{tb} + h_c \quad \text{W/(m}^2\text{.K)} \qquad \text{(Formule 27) ;}$$

avec :

- U_g : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie vitrée conformément, en W/(m^2.K) ;
- A_g : la plus petite surface de l'élément transparent vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ;
- U_p : coefficient surfacique de transmission thermique de la partie opaque, en W/(m^2.K) ;
- A_p : la plus petite surface de panneau opaque vue des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi, en m^2 ;

- $\Psi_{jonction}$: coefficient de transmission thermique linéique, en W/(m.K) dû à l'effet thermique entre le panneau opaque et le mur/le sol ou entre deux panneaux (opaque/opaque ou opaque/transparent) ;

$$\Psi_{jonction\_panneau/mur(sol)} = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - U_p \cdot l_p \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 28);}$$

$$\Psi_{jonction\_panneau/panneau} = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - U_{p1} \cdot l_{p1} - U_{p2} \cdot l_{p2} \quad \text{W/(m.K)} \quad \text{(Formule 29);}$$

Avec :

- φ_2 : flux total à travers la section, obtenu par calcul numérique, en W/m ;
- ΔT : la différence de température, en K ;
- U_p, U_{p1}, U_{p2} : coefficient surfacique de transmission thermique du (ou des) panneau(x), en W/(m^2.K) ;
- l_p, l_{p1}, l_{p2} : la plus grande longueur visible du (ou des) panneau(x) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi en m. Avec $l_p \geq 250$ mm, $l_{p1} \geq 250$ mm et $l_{p2} \geq 250$ mm.

- $l_{jonction}$: le plus grand périmètre de toutes les jonctions (éléments transparents, bord supérieur/inférieur /latéraux de la porte) vu des deux côtés intérieur et extérieur de la paroi ;

- $\Delta U_{tb} + h_c$: l'effet des ponts thermiques (tb) et des éléments de quincaillerie (h_c), en W/(m^2.K).
  $\Delta U_{tb} + h_c = 0{,}1$ W/(m^2.K)

3.2.7.2 *Facteur de transmission solaire S_d des portes*

Quelle que soit la porte, dans le cas où elle comporte une partie vitrée, le facteur solaire S_d est à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

Quelle que soit la porte, dans le cas où celle-ci ne comporte pas de partie vitrée, le facteur solaire S_d est calculé d'après les formules suivantes :

$$S_d = \frac{\alpha . U_d}{h_e}$$

Avec :

α le coefficient d'absorption en partie courante de la porte
h_e est le coefficient d'échange superficiel, pris égal à 25 W/(m².K)

3.2.7.3 *Facteur de transmission lumineuse TL_d des portes*

Quelle que soit la porte, dans le cas où elle comporte une partie vitrée, le de transmission lumineuse TL_d est à déterminer par calcul selon la norme XP P50-777.

Quelle que soit la porte, dans le cas où celle-ci ne comporte pas de partie vitrée, le coefficient de transmission lumineuse TL_d est pris égal à 0.

3.2.8 PLAQUE DE POLYCARBONATE SEULE

3.2.8.1 *Coefficient de transmission thermique U_t*

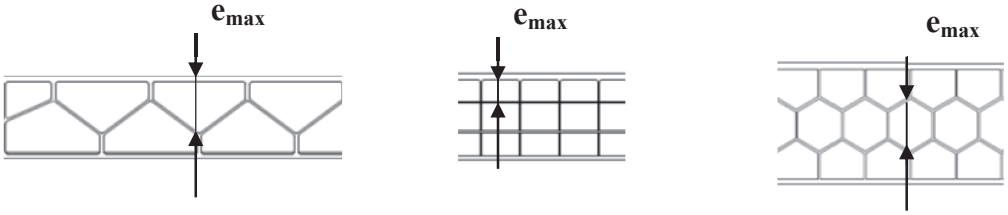
Dans le cas d'un calcul de consommation ou de confort à l'échelle du bâtiment, il est nécessaire de fournir des valeurs de coefficients Ut à l'horizontale (noté Ut,0° dans la suite du paragraphe) et à la verticale (noté Ut,90° dans la suite du paragraphe).
Le coefficient surfacique U_t en partie centrale de la plaque translucide se calcule comme suit :
a – Dans le cas général d'un produit marqué CE, le coefficient surfacique utile de la plaque prend la valeur suivante :

$$U_t = U_{t,d} ;$$

$U_{t,d}$ étant le coefficient de transmission surfacique de la plaque, déclaré dans le cadre du marquage CE selon la norme NF EN 16153.

Dans le cas où le coefficient de transmission surfacique de la plaque est déclaré en position verticale, il est possible de déduire le coefficient de transmission surfacique en position horizontale en appliquant les formules suivantes :

Epaisseur maxi e_{max} des alvéoles en mm	Formule
≤ 10	$U_{t,0°} = \dfrac{1}{\dfrac{1}{U_{t,90°}} - 0.03}$
> 10 mm	$U_{t,0°} = 1{,}6 \cdot U_{t,90°}$



Dans le cas où le sens du flux n'est pas précisé dans la déclaration de performance, on supposera : $U_{t,d} = U_{t,\,90°}$.

b – Dans le cas d'un produit non marqué CE, le coefficient de transmission surfacique utile U_t est déterminé par simulation numérique d'après la formule ci-après :

$$U_t = \frac{\varphi_t}{\Delta T \; b_t} \qquad \text{(Formule 30) ;}$$

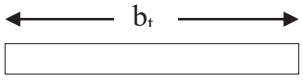


Figure 29 : Modèle numérique de la plaque translucide

où

φ_t le flux thermique à travers un modèle de la plaque de longueur b_t, en W ;

ΔT la différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre du modèle, en K ;

b_t la longueur du modèle, en m.

La conductivité thermique des alvéoles d'air est déterminée selon la méthode utilisée pour les profilés de menuiserie en considérant une direction de flux ascendant dans le cas de plaques horizontales et une direction de flux horizontale dans le cas de plaques verticales.

3.2.8.2 *Calcul du facteur de transmission solaire S_t*

Les composantes courtes longueurs d'onde et réémission thermique du facteur solaire à incidence corrigée se calculent à partir du projet de norme NF EN 16153 et de la formule suivante :

$$S_{t1} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h}$$ (Formule 31) ;

$$S_{t2} = F_{iv-PCA}^{fs} \times q_i$$ (Formule 32) ;

Où :

- $\tau_{e,n-h}$: Transmission énergétique normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme NF EN 16153
- q_i : Facteur de réémission thermique, déterminée selon le projet de norme NF EN 16153
- $F_{ivPCA\_dir}^{fs}$ est le coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable sur le PCA horizontal, considéré identique pour les rayonnements directs et diffus, et pris égal à 0,85.

3.2.8.3 *Calcul du fActeur de transmission lumineuse TL_t*

Les facteurs de transmission lumineuse de la plaque de polycarbonate seule, en incidence normale, sont les suivants :

$$TL_t = \tau_{v,n-h}$$ (Formule 33) ;

$$TL_{t\_dif} = \tau_{v,n-h} - \tau_{v,n-n}$$ (Formule 34) ;

Où :

- $\tau_{v,n-h}$ est la transmission lumineuse normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme NF EN 16153 ;
- $\tau_{v,n-n}$ est la transmission lumineuse normale-normale de la plaque de polycarbonate, déterminée selon le projet de norme NF EN 16153.

3.2.9 LANTERNEAUX

Les méthodes de calcul données ci-après s'appliquent, soit aux lanterneaux ponctuels et filants sans vitrage isolant additionnel et comportant une ou plusieurs plaques translucides à base de matière plastique, soit aux lanterneaux ponctuels avec vitrage additionnel.

3.2.9.1 ***Lanterneaux ponctuels sans vitrage isolant additionnel***

3.2.9.1.1 ***Coefficient de transmission thermique Uw***

Pour les lanterneaux ponctuels, la valeur déclarée U_{rc} doit être corrigée à partir du coefficient C, calculé suivant la formule ci-dessous :

$$U_{utile} = C \times U_{rc} \quad \text{(Formule 35);}$$

$$C = A_{rc}/A_p \quad \text{(Formule 36) ;}$$

A_{rc} et A_p étant respectivement la surface développée telle que définie dans la norme EN 1873 et la surface projetée du lanterneau, en m².

U_{rc} étant la valeur déclarée de la transmission surfacique du lanterneau, déterminée conformément à la norme EN 1873 (cf. §. 3.1.4).

En l'absence de valeur U_{rc}, le coefficient de transmission surfacique utile du lanterneau, peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après, soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-2. Dans ce dernier cas les résultats d'une mesure ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres lanterneaux.
En l'absence de valeurs mesurées selon la norme NF EN ISO 12567-2 ou calculées selon la présente méthode, des valeurs par défaut sont données dans le document Applications - Parois vitrées au §3.2.9.



Figure 30- Lanterneau ponctuel

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux ponctuels se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2}{A_p} \quad \text{(Formule 37) ;}$$

A_t est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

L_1 est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m ;

L_2 est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m ;

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m² ;

U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de la plaque translucide en W/(m².K),voir §3.2.8.1 :

Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profil de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en W/(m.K). Ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_g = 190 mm):

$$\psi_1 = \frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \quad \text{(Formule 38) ;}$$

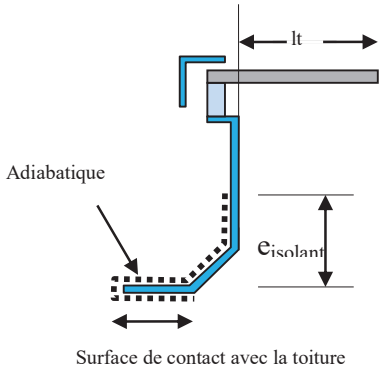


Figure 31 : Coupe transversale au niveau de la costière

Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central pour lanterneau à deux vantaux, exprimé en W/(m.K). Ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_t = 190 mm):

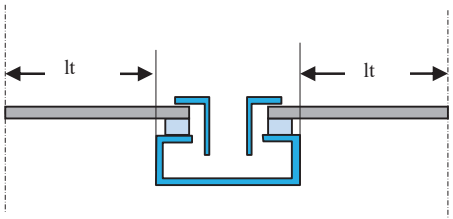


Figure 32 : Coupe transversale au niveau du profilé central

$$\psi_2 = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \text{ (Formule 39).}$$

3.2.9.1.2 ***Calcul du facteur de transmission solaire Sw***

Les facteurs de transmission solaire déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

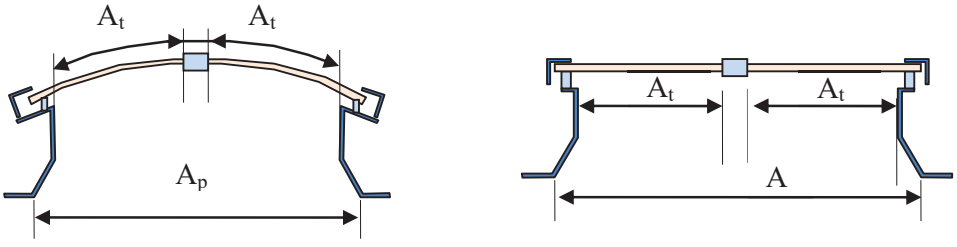


Figure 33 : Dimensions d'un lanterneau ponctuel

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un lanterneau ponctuel se calcule par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t1}$$ (Formule 40) ;

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \frac{\alpha_{e2}.L_2.\psi_2}{A_p.h_e} + \frac{\alpha_{e1}.L_1.\psi_1}{A_p.h_e}.r_v$$ (Formule 41) ;

Où :

- **S_{t1}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 pour une paroi horizontale,
- **S_{t2}** est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 pour une paroi horizontale
- **A_t** est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2.
- **A_p** est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m².
- **h_e** est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en conditions C.
- **r_v** est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
- **L_1** est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.
- **α_{e1}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.
- **Ψ_1** est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §3.2.9.1.1.
- **L_2** est la longueur du profil central pour des lanterneaux à deux vantaux, exprimée en m.
- **α_{e2}** est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux.

  Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé central, pour les lanterneaux à deux vantaux, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le §3.2.9.1.1.

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = 0,60$

$h_e = 25$ W/(m².K)

$r_v = 0,55$

3.2.9.1.3 ***Calcul du facteur de transmission lumineuse Tli***

3.2.9.1.3.1 Ensemble du lanterneau

Les facteurs de transmission lumineuse déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières et de la forme du lanterneau, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

$$Tli_{sp,b} = F_{forme\_LT}.(R^{fl}_{dir}..F^{fl}_{cost\_dir}.F^{fl}_{rivLT\_dir} + (1 - R^{fl}_{dir}).F^{fl}_{cost\_dif}.F^{fl}_{rivLT\_dif}) \times TL_{t} \quad \text{(Formule 42) ;}$$

$$Tlid_{sp,b} = F_{forme\_LT}(R^{fl}_{dir}.F^{fl}_{cost\_dir}.F^{fl}_{rivLT\_dir} + (1 - R^{fl}_{dir}).F^{fl}_{cost\_dif}.F^{fl}_{rivLT\_dif}) \times TL_{t\_dif} \quad \text{(Formule 43) ;}$$

Où :

- F_{forme_LT} est le coefficient correctif pour prendre en compte une éventuelle variation de section du lanterneau le long de son axe vertical (§3.2.9.1.3.3) ;
- $F^{fl}_{cost\_dir}$ et $F^{fl}_{cost\_dif}$ sont les coefficients de correction associés à la costière, calculés selon la procédure décrite au§3.2.9.1.3.2;
- $F^{fl}_{rivLT\_dir}$ et $F^{fl}_{rivLT\_dif}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur le polycarbonate, calculés selon la procédure décrite au §3.2.8 ;
- R^{fl}_{dir} est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 28 (§3.3.3.2.1).

On introduit trois grandeurs caractéristiques du lanterneau permettant de corriger ses facteurs de transmission lumineuse :

- l'indice de lanterneau **K**, caractérisant ses dimensions au même titre que le coefficient de forme du contour de la baie dans le cas courant :

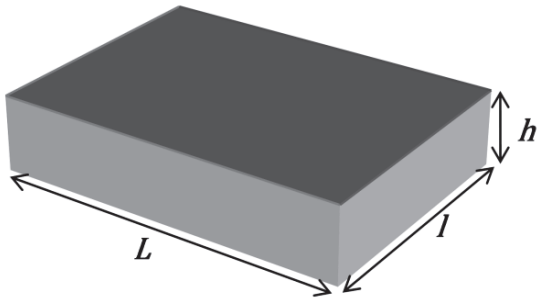


Figure 34 : Dimensions du lanterneau

$$K = \frac{L.l}{h.(L + l)} \quad \text{(Formule 44) ;}$$

Où :

- L et l sont la largeur et la longueur de la baie (au nu intérieur) couverte par le lanterneau, exprimées en m,
- h est la hauteur complète du lanterneau du nu intérieur jusqu'au polycarbonate, en m.

- le facteur de réflexion lumineuse ρ_{LT} des parois intérieures du lanterneau (costière) ou du puits de lumière,

- le ratio $Rat_{LT,}$ caractérisant l'évasement du lanterneau :

$$Rat_{LT} = 100 \times \frac{A_{PCA}}{L \times l} (\%)$$ (Formule 45) ;

Où A_{PCA} est la surface de la partie supérieure du lanterneau, intégrant le polycarbonate, exprimée en m^2.

Note : les valeurs retenues pour l'indice K sont : 0,25, 0,5, 0,75, 1, 2 et 5. Les trois dernières valeurs correspondent vraiment à des lanterneaux (standard pour K = 5 et avec costière haute pour K =1) alors que les trois premières correspondent à des puits de lumière (à section carrée ou rectangulaire et avec revêtement de paroi non spéculaire).

3.2.9.1.3.2 Prise en compte de la costière du lanterneau

Comme pour les cas courants de parois vitrées, on distingue ce qui est relatif au soleil ($F^{fl}_{cost\_dir}$) de ce qui est relatif au ciel et au sol ($F^{fl}_{cost\_dif}$). Les coefficients sont donnés pour une costière droite, la correction associée à la forme du lanterneau étant traitée à part.

Tableau 19 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement direct (soleil) $F^{fl}_{cost\_dir}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

Valeur du facteur de réflexion ρ	Valeur du K du lanterneau (ou du puits)					
	0,25	0,5	0,75	1	2	5 ou plus
0,1	0	0,15	0,30	0,40	0,65	0,85
0,3	0,05	0,20	0,35	0,45	0,70	0,85
0,6	0,05	0,30	0,40	0,55	0,75	0,90

Tableau 20 : Valeurs du coefficient de prise en compte de la costière pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{cost\_dif}$ selon la valeur de K et du facteur de réflexion ρ

Valeur du facteur de réflexion ρ	Valeur du K du lanterneau (ou du puits)					
	0,25	0,5	0,75	1	2	5 ou plus
0,1	0,10	0,25	0,35	0,45	0,65	0,85
0,3	0,10	0,25	0,40	0,50	0,70	0,85
0,6	0,15	0,35	0,45	0,55	0,75	0,90

Prise en compte de l'incidence variable sur le polycarbonate :

Les coefficients de correction pour prise en compte de l'incidence variable sur le polycarbonate horizontal sont pris égaux aux valeurs suivantes :

$F^{fl}_{rivLT\_dir} = 0,85$
$F^{fl}_{rivLT\_dif} = 0,85$

Note : pour représenter la transmission directe du PCA "clair", on se réfère à la courbe générique de la Figure 35.

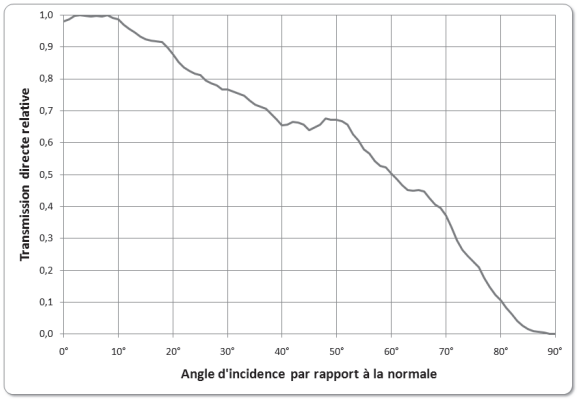


Figure 35 : Courbe générique pour la transmission directe du PCA "clair"

3.2.9.1.3.3 Prise en compte de la forme du lanterneau

Les profils d'évasement sont considérés progressifs le long de l'axe vertical du dispositif :

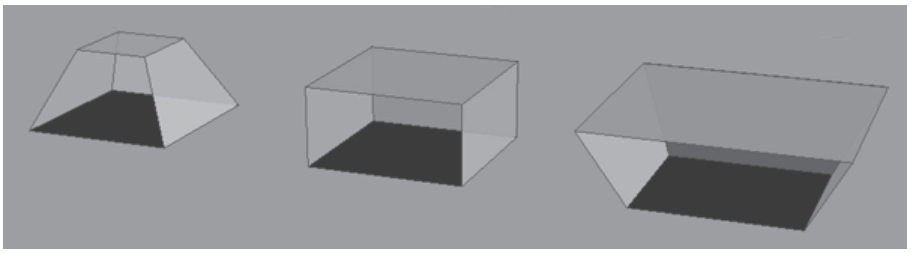


Figure 36 : Profils d'évasement de lanterneaux

Les dimensions de la partie haute sont comprises entre 50 % et 150 % des dimensions de la baie (le cas 100 % correspond au lanterneau à costière droite). On considère un ratio identique pour la largeur et la longueur

Tableau 21 : Facteur correctif F_{forme_LT} à appliquer en fonction de l'évasement du lanterneau

K	Facteur de réflexion ρ_{LT}	Ratio d'évasement Rat_{LT} *(en %)*				
		50	75	**100**	125	150
1 (ou moins)	0,10	0,30	0,65	1	1,40	1,70
	0,30				1,35	1,65
	0,60				1,30	1,55
2	0,10				1,25	1,40
	0,30				1,25	1,40
	0,60				1,25	1,35
5 (ou plus)	De 0,10 à 0,60				1,15	1,15

3.2.9.2 *Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel*

3.2.9.2.1 *Coefficient de transmission thermique Uw*

Le coefficient de transmission surfacique utile du lanterneau, peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après, soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-2. Dans ce dernier cas les résultats d'une mesure ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres lanterneaux.

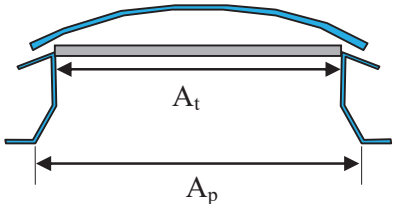


Figure 37 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_t A_t + \Psi_c L_c}{A_p} \qquad \text{(Formule 46) ;}$$

où :

A_t est la plus petite des aires développées visibles du vitrage isolant vue des deux côtés de la paroi, exprimée en m² ;

L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m ;

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m² ;

U_t est le coefficient surfacique de transmission thermique en partie centrale de l'ensemble dôme et vitrage isolant, exprimé en W/(m².k). Il est calculé suivant la méthode ci-dessous ;

Ψ_c est le coefficient de transmission thermique linéique à-travers la costière et l'intercalaire du vitrage isolant, exprimé en W/(m.K) et calculé selon les normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, en négligeant l'effet du dôme et en considérant la surface extérieure du vitrage comme fortement ventilée.

Le coefficient de transmission thermique U_t de l'ensemble dôme et vitrage isolant dépend du coefficient de transmission thermique du vitrage isolant U_g déterminé à l'horizontale avec un flux ascendant selon la norme NF EN 673 et de la présence ou non de joints mousses assurant le contact entre le dôme et le vitrage isolant :

- Sans joint mousse :

$$U_t = U_{tv} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + 0{,}06} \qquad \text{(Formule 47) ;}$$

- Avec joint mousse :

$$U_t = U_{tn} = \frac{1}{\frac{1}{U_g} + \frac{1}{h_g + h_r}} \qquad \text{(Formule 48) ;}$$

Où h_r et h_g se calculent à l'aide de la norme NF EN 673 pour un flux thermique ascendant et une épaisseur de cavité égale à l'épaisseur moyenne du dôme. Pour des épaisseurs moyennes de cavité supérieures à 15 mm :

$$\frac{1}{h_g + h_r} = 0{,}16 \text{ m}^2\text{.K/W}$$

3.2.9.2.2 ***Calcul du facteur de transmission solaire Sw***

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lanterneaux ponctuels équipés d'un dôme translucide à base de matière plastique et d'un vitrage isolant avec remplissage air ou gaz.

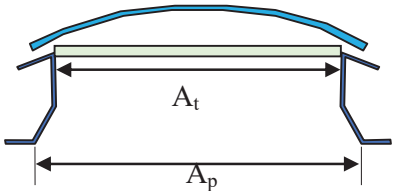


Figure 38 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le facteur de transmission solaire S_w des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t1}$$

$$S_{w2} = \frac{A_t}{A_p} \times S_{t2} + \left(\frac{\alpha_{ec} \cdot L_c \cdot \Psi_c}{A_p \cdot h_e}\right) . \mathrm{r_v} \qquad \text{(Formule 49) ;}$$

$$S_w = S_{w1} + S_{w2}$$

où :

S_{t1} est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 3.2.9.2.2.2.

S_{t2} est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de l'ensemble dôme + vitrage isolant, déterminé au paragraphe 3.2.9.2.2.3.

A_t est la plus petite des aires développées visibles du vitrage isolant, vue des deux côtés de la paroi, exprimée en m².

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m².

$\mathrm{r_v}$ est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale. A défaut de valeurs disponibles : $\mathrm{r_v}$ =0.55.

α_{ec} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière.

L_c est le périmètre intérieur de la costière, exprimé en m.

Ψ_c est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière et l'intercalaire du vitrage isolant, exprimé en W/(m.K) et calculé selon le paragraphe selon les normes NF EN ISO 10211 et NF EN ISO 10077-2, en négligeant l'effet du dôme et en considérant la surface extérieure du vitrage comme fortement ventilée.

h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur.

3.2.9.2.2.1 Composante $S_{t1,d}$ du dôme

La composante courte longueur d'onde du facteur solaire du dôme se calcule à partir de la norme NF EN 16153+A1 et de la formule suivante :

$$S_{t1,d} = F_{iv-PCA}^{fs} \times \tau_{e,n-h} \quad \text{(Formule 50) ;}$$

où :

F_{iv-PCA}^{fs} est le coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable sur le dôme horizontal, considéré identique pour les rayonnements directs et diffus est pris égal à 0,85.

$\tau_{e,n-h}$ est le coefficient de transmission énergétique normal-hémisphérique de la plaque en matière plastique, déterminé selon la norme NF EN 16153+A1.

3.2.9.2.2.2 Composante S_{t1} de l'ensemble dôme et vitrage isolant

La composante courte longueur d'onde du facteur solaire de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient S_{t1} d'après la formule suivante :

$$S_{t1} = \frac{S_{t1,d} \cdot \tau_{e1} \cdot \tau_{e2}}{[1-\rho'_{ed} \cdot \rho_{e1}][1-\rho'_{e1} \cdot \rho_{e2}] - \tau_{e1}^2 \cdot \rho'_{ed} \cdot \rho_{e2}} \quad \text{(Formule 51) ;}$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §3.2.9.2.2.1

τ_{e1} est le coefficient de transmission énergétique du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{e2} est le coefficient de transmission énergétique du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

ρ'_{ed} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'intérieur du dôme.

ρ_{e1} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{e1} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{e2} est le coefficient de réflexion énergétique vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

3.2.9.2.2.3 Composante S_{t2} de l'ensemble dôme et vitrage isolant

La composante du facteur de transmission solaire réémise vers l'intérieur S_{t2} de l'ensemble dôme et vitrage isolant dépend du coefficient de transmission thermique du vitrage isolant U_g et de la composante réémise du facteur de transmission solaire du vitrage isolant S_{g2} déterminés à l'horizontale avec un flux ascendant selon la norme NF EN 673, de la présence ou non de joints mousses assurant le contact entre le dôme et le vitrage isolant :

- *Sans joint mousse :*

$$S_{t2} = S_{t1,d} \cdot S_{g2} \quad \text{(Formule 52) ;}$$

où :

$S_{t1,d}$ est le coefficient de transmission énergétique du dôme, calculé au §3.2.9.2.2.1.

S_{g2} est la composante réémise vers l'intérieur du facteur de transmission solaire du vitrage isolant, calculée selon la norme EN 410 (noté q_i dans cette norme) avec un flux ascendant

- *Avec joint mousse :*

$$S_{t2} = \frac{\left(\frac{1}{U_g} - 0.14\right).\alpha_{e2} + \frac{\alpha_{e2}+\alpha_{e1}}{h_g+h_r} + \frac{\alpha_{e2}+\alpha_{e1}+\alpha_{ed}}{25}}{\frac{1}{h_g+h_r}+\frac{1}{U_g}}$$ (Formule 53) ;

où :

α_{e1} est le coefficient d'absorption solaire du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur), déterminé selon la norme EN 410.

α_{e2} est le coefficient d'absorption solaire du second verre, déterminé selon la norme EN 410.

α_{ed} est le coefficient d'absorption solaire du dôme, déterminé selon la norme EN 410

U_g est le coefficient de transmission thermique du vitrage isolant déterminé à l'horizontale avec flux ascendant et exprimé en W/(m².K).

Où h_r et h_g se calculent à l'aide de la norme EN 410 pour un flux thermique ascendant et une épaisseur de cavité égale à l'épaisseur moyenne du dôme. Pour des épaisseurs moyennes de cavité supérieures à 15 mm :

$$\frac{1}{h_g + h_r} = 0.16\ m^2.K/W$$

3.2.9.2.3 *Calcul du facteur de transmission lumineuse Tli*

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lanterneaux ponctuels équipés d'un dôme translucide à base de matière plastique et d'un vitrage isolant avec remplissage air ou gaz.

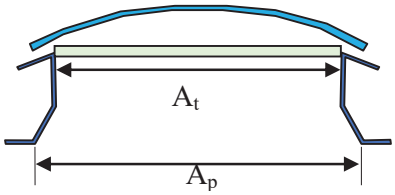


Figure 39 : Lanterneau ponctuel équipé d'un vitrage isolant additionnel

Le facteur de transmission lumineuse Tli des lanterneaux ponctuels équipés d'un vitrage isolant additionnel se calcule d'après les formules suivantes :

$$Tli_{sp,b} = \mathrm{F_{forme_{LT}}}.\left(\mathrm{R^{fl}_{dir}}.\mathrm{F^{fl}_{cost_{dir}}}.\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dir}}} + \left(1 - \mathrm{R^{fl}_{dir}}\right).\mathrm{F^{fl}_{cost_{dif}}}.\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dif}}}\right).\mathrm{TL_t}$$
$$Tlid_{sp,b} = \mathrm{F_{forme_{LT}}}.\left(\mathrm{R^{fl}_{dir}}.\mathrm{F^{fl}_{cost_{dir}}}.\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dir}}} + \left(1 - \mathrm{R^{fl}_{dir}}\right).\mathrm{F^{fl}_{cost_{dif}}}.\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dif}}}\right).\mathrm{TL_{t\,dif}}$$
(Formule 54) ;

où :

$\mathrm{F_{forme_{LT}}}$, $\mathrm{R^{fl}_{dir}}$, $\mathrm{F^{fl}_{cost_{dir}}}$, $\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dir}}}$, $\mathrm{F^{fl}_{cost_{dif}}}$, $\mathrm{F^{fl}_{rivLT_{dif}}}$ sont des coefficients de correction déterminés à partir du paragraphe §3.2.9.1.3.

3.2.9.2.3.1 Facteur de transmission lumineuse $\boldsymbol{TL_t}$ *de l'ensemble dôme et vitrage isolant*

Le facteur de transmission lumineuse de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient TL_t d'après la formule suivante :

$$TL_t = \frac{\tau_{vd} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1-\rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1-\rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}]-\tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad \text{(Formule 55) ;}$$

où :

τ_{vd} est le coefficient de transmission visible du dôme

τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

ρ'_{vd} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du dôme.

ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

3.2.9.2.3.2 Facteur de transmission lumineuse $\boldsymbol{TL_{t_{dif}}}$ *de l'ensemble dôme et vitrage isolant*

La composante diffusée du facteur de transmission lumineuse de l'ensemble dôme et vitrage isolant se calcule en assimilant l'ensemble à un triple vitrage. L'application de la norme EN 410 permet de calculer le coefficient $TL_{t_{dif}}$ d'après la formule suivante :

$$TL_{t_{dif}} = \frac{\tau_{vd,dif} \cdot \tau_{v1} \cdot \tau_{v2}}{[1-\rho'_{vd} \cdot \rho_{v1}][1-\rho'_{v1} \cdot \rho_{v2}]-\tau_{v1}^2 \cdot \rho'_{vd} \cdot \rho_{v2}} \quad \text{(Formule 56) ;}$$

où :

$\tau_{vd,dif}$ est la composante diffusée du coefficient de transmission visible du dôme.

τ_{v1} est le coefficient de transmission visible du premier verre du vitrage isolant (entre le dôme et le verre intérieur).

τ_{v2} est le coefficient de transmission visible du second verre du vitrage isolant (verre intérieur).

ρ'_{vd} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du dôme.

ρ_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ'_{v1} est le coefficient de réflexion visible vers l'intérieur du premier verre (entre le dôme et le verre intérieur).

ρ_{v2} est le coefficient de réflexion visible vers l'extérieur du second verre (verre intérieur).

3.2.9.3 *Lanterneaux filants sans vitrage isolant additionnel*

3.2.9.3.1 *Coefficient de transmission thermique Uw*

Pour les lanterneaux filants, la valeur $U_{w\ déclaré}$ doit être corrigée à partir du coefficient C, calculé suivant la formule ci-dessous :

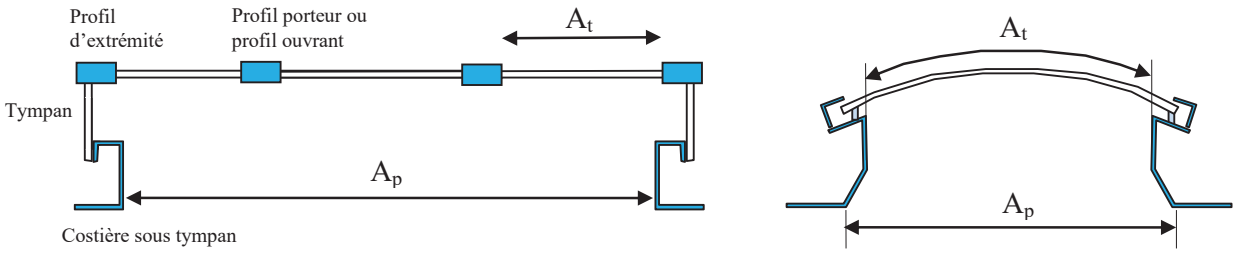
$$U_{w\ utile} = C \times U_{w\ déclaré} \quad \text{(Formule 57);}$$

$$C = A_d / A_p \quad \text{(Formule 58);}$$

A_d et A_p étant respectivement la surface développée et la surface projetée du lanterneau, en m².

$U_{w\ déclaré}$ étant la valeur déclarée de la paroi vitrée. Elle est déterminée conformément aux normes européennes utilisés pour le marquage CE des parois concernées.

En l'absence de valeur $U_{déclaré}$, le coefficient de transmission surfacique utile du lanterneau, peut être déterminé soit par calcul conformément à la méthode donnée ci-après, soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme NF EN ISO 12567-2. Dans ce dernier cas les résultats d'une mesure ne sont généralement valables que pour l'éprouvette mesurée et ne peuvent par conséquent être étendus à d'autres lanterneaux.



Coupe longitudinale Coupe transversale

Figure 40- Lanterneau filant

Le coefficient de transmission thermique U_w des lanterneaux filants se calcule selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum U_t A_t + \psi_1 L_1 + \psi_2 L_2 + \psi_3 L_3 + \psi_4 L_4}{A_p} \quad \text{(Formule 59) ;}$$

A_t est la plus petite des aires développées visibles de chaque plaque translucide composant le lanterneau, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2 ;

L_1 est la longueur de la costière longitudinale vue de l'intérieur, exprimé en m ;

L_2 est la longueur du profil porteur, exprimée en m ;

L_3 est la longueur du profil d'extrémité, exprimée en m ;

L_4 est la longueur de la costière sous tympans vue de l'intérieur, exprimée en m ;

A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m² ;

U_t est le coefficient surfacique en partie centrale de chaque plaque translucide en $W/(m^2.K)$. Son mode de calcul est donné au paragraphe 3.2.8.1.

Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière, le profilé de rive et leur jonction avec la plaque translucide, exprimé en W/(m.K). Ψ_1 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_g = 190 mm):

$$\psi_1 = \frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_t \times l_t \qquad \text{(Formule 60) ;}$$

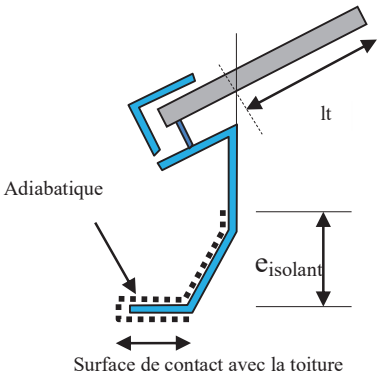


Figure 41- Coupe transversale au niveau de la costière

Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil porteur ou le profil ouvrant, exprimé en W/(m.K). Ψ_2 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_t = 190 mm):

$$\psi_2 = \frac{\varphi_2}{\Delta T} - 2 \times U_t \times l_t \qquad \text{(Formule 61) ;}$$

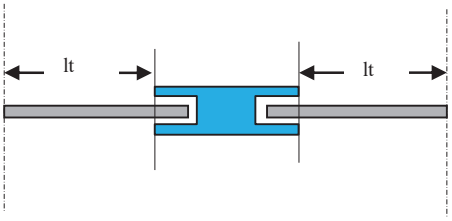


Figure 42 - Coupe transversale au niveau du profil porteur ou profil ouvrant

Ψ_3 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profil d'extrémité, exprimé en W/(m.K). Ψ_3 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_t = 190 mm):

$$\psi_3 = \frac{\varphi_3}{\Delta T} - (U_{t1} + U_{t2}) \times l_t \qquad \text{(Formule 62) ;}$$

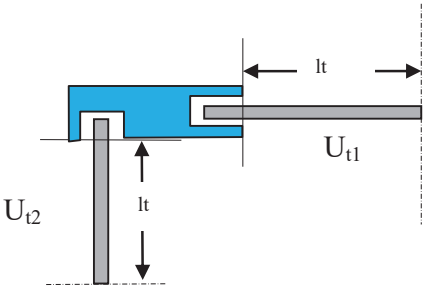


Figure 43 - Coupe transversale au niveau du profil d'extrémité

Ψ_4 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière sous tympan, exprimé en W/(m.K). Ψ_4 est calculé numériquement d'après la formule suivante (prendre l_t = 190 mm):

$$\psi_4 = \frac{\varphi_4}{\Delta T} - U_t \times l_t \qquad \text{(Formule 63) ;}$$

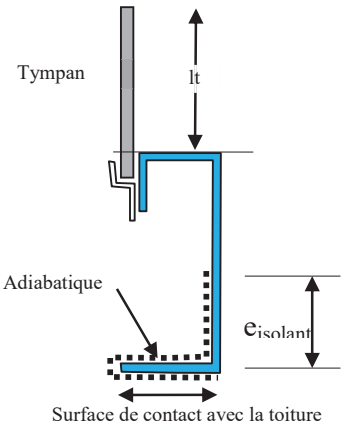


Figure 44 - Coupe transversale au niveau de la costière sous tympan

3.2.9.3.2 ***Calcul du facteur de transmission solaire Sw***

Les facteurs de transmission solaire déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières, les méthodes ci-après doivent être utilisées.

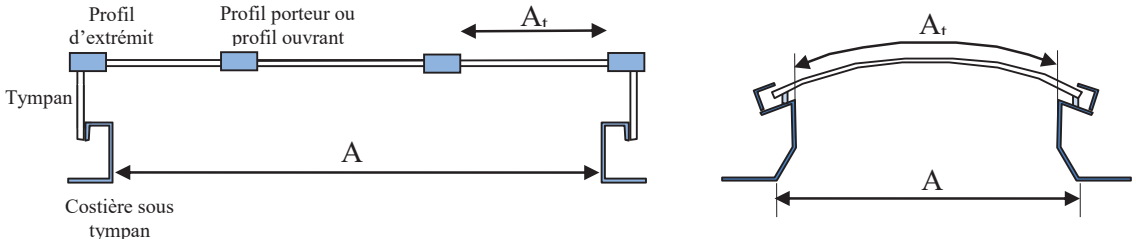


Figure 45 : Dimensions d'un lanterneau filant

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un lanterneau filant se calcule par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{t1,i}}{A_p} \qquad \text{(Formule 64) ;}$$

$$S_{w1} = \frac{\sum_i A_{t,i} \times S_{t2,i}}{A_p} + \frac{\alpha_{e2}.L_2.\psi_2 + \alpha_{e3}.L_3.\psi_3}{A_p.h_e} + \left(\frac{\alpha_{e1}.L_1.\psi_1 + \alpha_{e4}.L_4.\psi_4}{A_p.h_e} \right).r_v \qquad \text{(Formule 65) ;}$$

Où :

- $S_{t1,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation
- $S_{t2,i}$ est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation
- $A_{t,i}$ est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m^2.
- A_p est l'aire intérieure du lanterneau projetée sur un plan parallèle à la toiture, exprimée en m².
- h_e est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.
- r_v est le rapport entre l'énergie solaire annuelle incidente sur les faces verticales de la costière et l'énergie solaire annuelle incidente sur la plaque horizontale.
- L_1 est le périmètre intérieur de la costière longitudinale, exprimé en m.
- α_{e1} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière longitudinale.
- Ψ_1 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière longitudinale, exprimé en W/(m.K).
- L_2 est la longueur du profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimée en m.
- α_{e2} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé porteur ou du profilé ouvrant.Ψ_2 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé porteur ou le profilé ouvrant, exprimé en W/(m.K)

- L_3 est la longueur du profilé d'extrémité, exprimée en m.
- α_{e3} est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé d'extrémité.
- Ψ_3 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé d'extrémité, exprimé en W/(m.K).
- L_4 est le périmètre intérieur de la costière sous tympan, exprimée en m.
- α_{e4} est le coefficient d'absorption énergétique moyen de la costière sous tympan,
- Ψ_4 est le coefficient de transmission thermique linéique à travers la costière sous tympan, exprimé en W/(m.K).

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

$\alpha_{e1} = \alpha_{e2} = \alpha_{e3} = \alpha_{e4} = 0,60$

$h_e = 25$ W/(m².K)

$r_v = 0,55$

3.2.9.3.3 ***Calcul du facteur de transmission lumineuse Tli***

Les facteurs de transmission lumineuse déclarés dans le cadre du marquage CE se limitent aux caractéristiques des éléments de remplissage des lanterneaux. Pour tenir compte de l'effet des costières et de la forme du lanterneau, les méthodes du §3.2.9.1.3. doivent être utilisées.

3.2.10 *BARDAGES ET COUVERTURES EN POLYCARBONATE*

Les seuls éléments traités dans ce chapitre sont les bardages ou les couvertures constitués de plaques de polycarbonate maintenues par des profilés (connecteurs ou autres) de manière à constituer une couche séparative entre l'ambiance intérieure et extérieure.

En particulier, les bardages double-peau ventilés naturellement ou mécaniquement ne sont pas traités. Les hypothèses suivantes sont de plus appliquées :

- Les profilés de jonctions entre plaques sont considérés comme opaques
- L'influence des éléments de fixation ponctuels est négligée

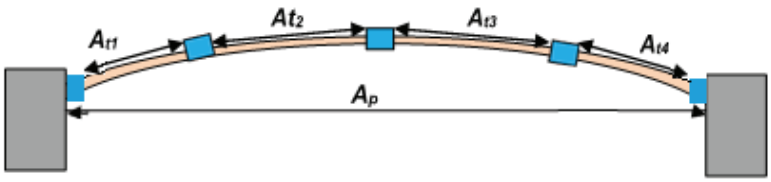


Figure 46: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en tunnel

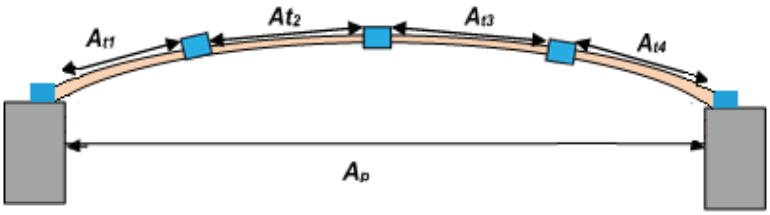


Figure 47: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en applique

Dans le cas où l'angle d'inclinaison entre deux facettes est inférieur à 10°, l'approximation d'une surface plane est possible, soit :

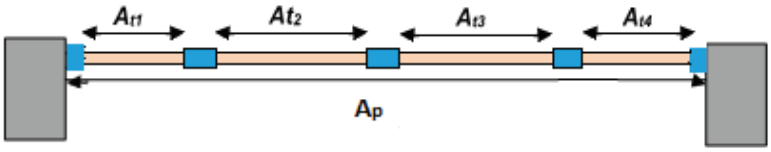


Figure 48: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en tunnel, approximation surface plane

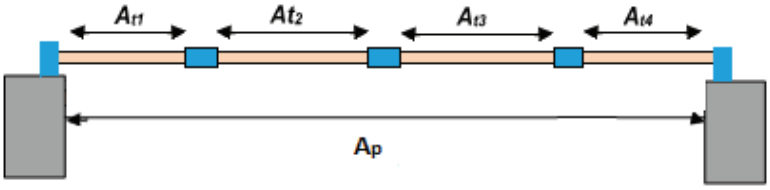


Figure 49: Dimensions des verrières et bardages en polycarbonate, pose en applique, approximation surface plane

3.2.10.1 ***Coefficient de transmission thermique Uw***

Le coefficient de transmission thermique Uw des bardages et couvertures en polycarbonate se calcule selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{\sum_i A_{t_i} U_{t_i} + \sum_j L_{f_j} \psi_{f_j} + \sum_k \chi_{patte_k} + L_{rive} \cdot \Psi_{rive} + L_{about} \cdot \Psi_{about}}{A_p}$$ (Formule 66) ;

Avec :

Ati : plus petite des aires développées visibles du panneau de polycarbonate i, vues des deux côtés de la paroi, en m²,

Ap : aire intérieure plane de l'ouverture, couverte par la toiture en polycarbonate, en m²,

Lfj : linéaire du profilé d'emboitement j entre panneaux, en m,

Uti : coefficient de transmission thermique en partie courante du panneau i, en W/(m².K), son mode de calcul est donné au paragraphe 3.2.8.1.

ψfj : coefficient de transmission linéique du pont thermique établis sur la base de la convention de calcul de la norme NF EN ISO 10077-2 et présent au niveau de l'emboîtement j de deux panneaux, en W/(m.K), déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et à partir de la formule suivante :

$$\psi_f = \frac{\phi}{\Delta T} - 2 \times l_t \times U_t$$ (Formule 67) ;

φ : flux thermique traversant le modèle numérique 2D représentant l'emboîtement entre deux panneaux, pour une profondeur de modèle de 1 m, en W/m,

ΔT : différence de température entre les ambiances, intérieure et extérieure, en K,

Ut : coefficient de transmission thermique du modèle numérique des éléments de panneaux adjacents à l'emboîtement, en W/(m².K),

lt : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible sur l'un des côtés du modèle numérique, en m,

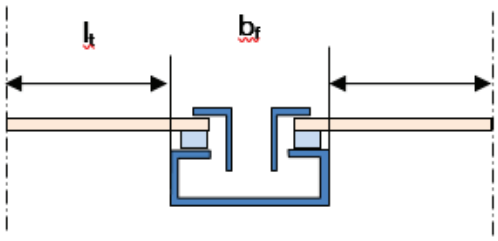


Figure 50: Schéma du profilé de jonction centrale

Si la description du profilé de jonction centrale n'est pas disponible, on peut considérer une valeur par défaut telle que ψf = 0,25 W/(m.K).

χ patte k : Coefficient de transmission ponctuel du pont thermique établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10211 et présent au niveau de la patte de fixation k, en W/K, calculé à partir d'un modèle numérique tridimensionnel et de la formule suivante :

$$\chi_k = \frac{\Phi_{PT} - \Phi_{SPT}}{\Delta T}$$ (Formule 68) ;

ΦPT : flux thermique traversant le modèle numérique 3D représentant l'emboîtement entre deux panneaux munis d'un crochet de dépression, en W,

ΦSPT: flux thermique traversant le modèle numérique 3D représentant l'emboîtement entre deux panneaux sans crochet de dépression, en W,

ΔT : différence de température entre les ambiances, intérieure et extérieure, en K,

En pratique et de manière à éviter les modélisations 3D avec ces géométries complexes, on utilisera prioritairement les valeurs par défauts suivantes :

Nature patte de fixation	Aluminium	Inox
Emboitement avec profilé	χ patte = 0,060 W/K	χ patte = 0,025 W/K

Ψ rive : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en rive, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et par la formule suivante :

$$\Psi_{rive} = \frac{\phi}{\Delta T} - l_t . U_t \qquad \text{(Formule 69) ;}$$

ϕ : flux linéique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W/m,

l_t : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible des deux côtés du modèle numérique, en m (considérer $l_t = 0{,}19\ m$)

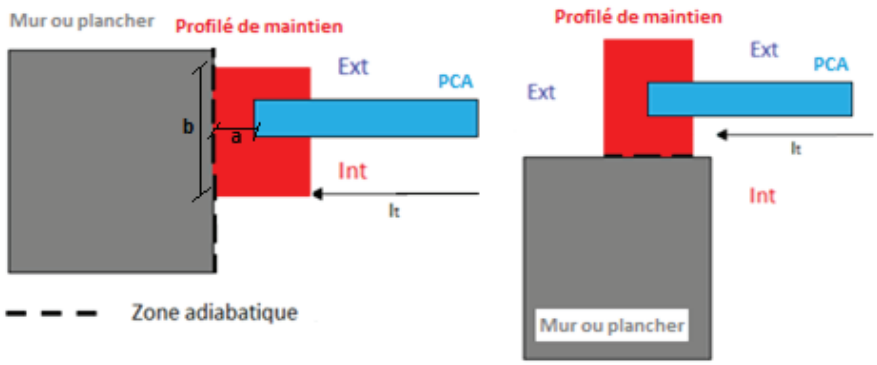


Figure 51: Schéma de pose en tunnel et en applique d'un panneau de PCA en rive

Ψ_{about} : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide de modèles numériques 2D et 3D et par la formule suivante :

$$\Psi_{about} = \Psi_0 + \frac{\chi crois}{L} \qquad \text{(Formule 70) ;}$$

L : Largeur des panneaux PCA, en m,

Ψ_0 : Coefficient de transmission thermique linéique dû à la liaison entre la paroi en PCA et le mur support en partie courante de la liaison en about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10077-2 et déterminé à l'aide d'un modèle numérique 2D et par la formule suivante :

$$\Psi_0 = \frac{\phi}{\Delta T} - l_t . U_t \qquad \text{(Formule 71) ;}$$

ϕ : flux linéique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W/m,

l_t : plus petite largeur de panneau de polycarbonate visible des deux côtés du modèle numérique, en m (considérer $l_t = 0{,}19\ m$)

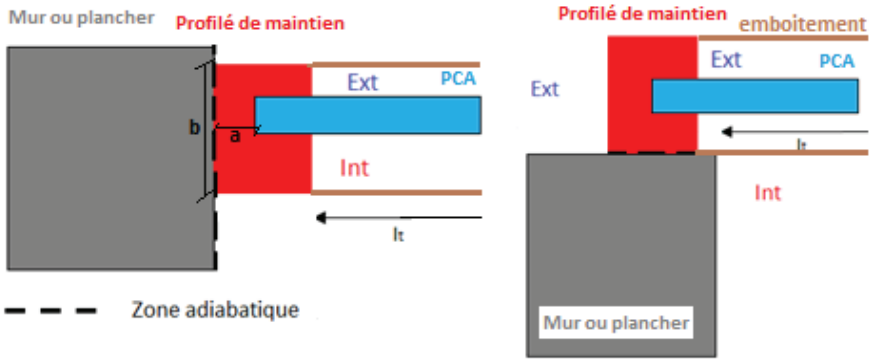


Figure 52: Schéma de pose en tunnel et en applique d'un panneau de PCA en about

χ_{crois} : est le pont thermique ponctuel du au croisement entre le profilé central assurant l'emboitement entre panneau PCA et le profilé d'about, établis sur la base de la convention de calcul de la norme 10211 et déterminé par un modèle 3D et la formule suivante :

$$\chi_{crois} = \frac{\Phi - \Phi_{SPT}}{\Delta T} \qquad \text{(Formule 72) ;}$$

Φ : flux thermique traversant le modèle représentant la liaison et dans lequel les éléments supports sont remplacés par des surfaces adiabatiques, en W,

Φ_{SPT} : flux thermique traversant le même modèle représentant la liaison et dans lequel la liaison entre profilés est remplacée par un bloc adiabatique, en W,

ΔT : différence de température entre les ambiances, intérieure et extérieure, en K,

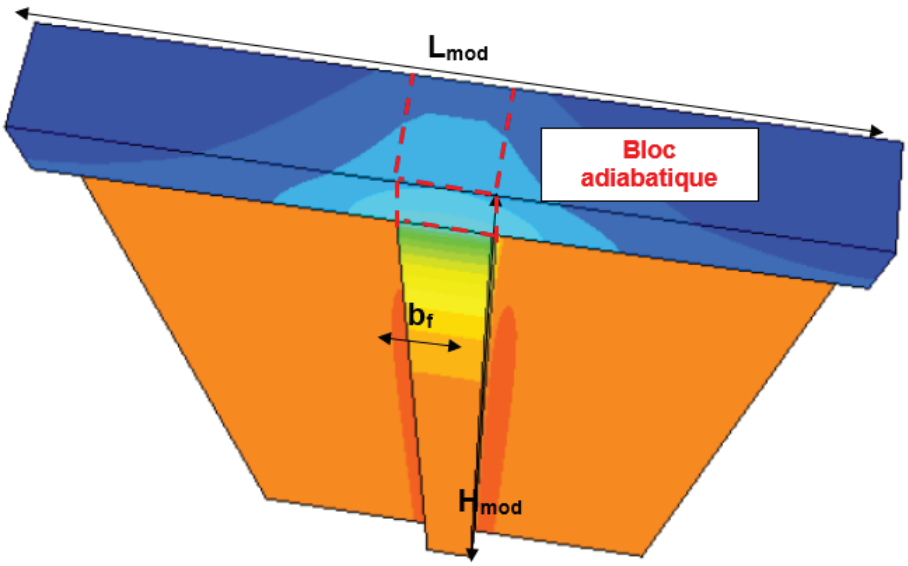


Figure 53: Image thermique du pont thermique ponctuel de croisement

Si la jonction en rive et en about n'est pas décrite, il est possible d'utiliser les valeurs par défauts suivantes :

Mode de pose	Ψ rive [W/(m.K)]	Ψ about [W/(m.K)]
Pose en applique	0,30	0,40
Pose en tunnel	0,50	0,60

Dans le cas de la pose en tunnel, ces valeurs sont valables si a≤4cm et b≥5cm. Sinon la valeur à considérer est de 1 W/(m.K)

3.2.10.2 ***Calcul du facteur de transmission solaire Sw***

Le calcul du facteur de transmission solaire d'un bardage ou d'une couverture en polycarbonate, sans protection solaire, se fait par les formules suivantes :

$$S_{w1} = \frac{\sum_i Ag,i.St1,i}{Ap} \quad \text{(Formule 73) ;}$$

$$S_{w2} = \frac{\sum_i Ag,i.St1,i}{Ap} + \frac{\alpha ef.Lf.\psi f}{Ap.he} \quad \text{(Formule 74) ;}$$

Où :

St1,i est le facteur de transmission de l'énergie solaire courte longueur d'onde de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation

St2,i est le facteur de transmission de l'énergie solaire réémis vers l'intérieur de chaque plaque i, déterminé au paragraphe 3.2.8.2 en fonction de son orientation

Ag,i est la plus petite des aires développées visibles de la plaque translucide i, vues des deux côtés de la paroi, exprimée en m2.

Ap est l'aire intérieure plane de l'ouverture, exprimée en m².

he est le coefficient de transmission thermique superficielle extérieur, calculé en condition hivernale.

Lf est la longueur du profilé d'emboitement, exprimé en m.

αef est le coefficient d'absorption énergétique moyen du profilé d'emboitement

ψf est le coefficient de transmission thermique linéique à travers le profilé d'emboitement, exprimé en W/(m.K).

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

αef = 0,60 et he = 25 W/(m².K)

3.2.10.3 ***Calcul du facteur de transmission lumineuse Tlw***

Les plaques de polycarbonates étant jointes sans pièces opaques, le calcul de la transmission lumineuse TLw se fait par la formule suivante :

$$TL_w = \frac{\sum_i A_{t,i} TL_{t,i}}{A_p} \quad \text{(Formule 75) ;}$$

$$TL_t = F_{iv-PCA}^{fl} \times \tau_{v,n-h} \quad \text{(Formule 76) ;}$$

Avec :

Ati : Plus petite des aires développées visibles du panneau de polycarbonate i, vues des deux côtés de la paroi, en m²,

Ap : Aire intérieure plane de l'ouverture, exprimée en m²,

F_{iv-PCA}^{fl} Coefficient de correction pour la prise en compte de l'incidence variable du polycarbonate horizontal, égal à 0,85,

τv,n-h Coefficient de transmission lumineuse normale-hémisphérique de la plaque de polycarbonate mesuré par essais conformes au projet de norme NF EN 16153,

Remarque : A défaut de mesure de la part diffusée, TLwdif = TLw

3.2.11 PAROIS EN BRIQUES DE VERRE

La présente méthode s'applique aux parois en brique de verre verticale ou horizontale insérées dans une baie.

Les parois sont constituées de briques à simples rangées ou à double rangées et comportant deux ou trois cloisons. Les briques sont assemblées entre elles au moyen d'un joint intermédiaire en mortier et d'un cadre périphérique en mortier ou en béton en contact avec le mur adjacent.

3.2.11.1 *Coefficient de transmission thermique Uw d'une paroi en brique de verre*

Le coefficient de transmission thermique surfacique U_w d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$U_w = U_g + \Delta U$$ (Formule 77) ;

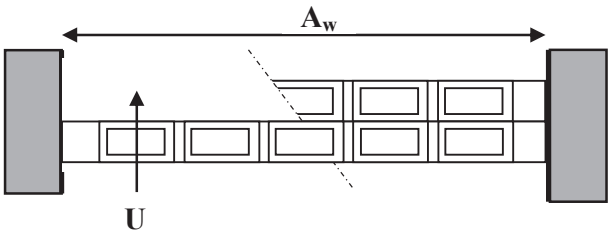


Figure 54– Coupe horizontale

$$\Delta U = \frac{\psi_1 \cdot L_1 + \psi_2 \cdot L_2}{A_w}$$ (Formule 78) ;

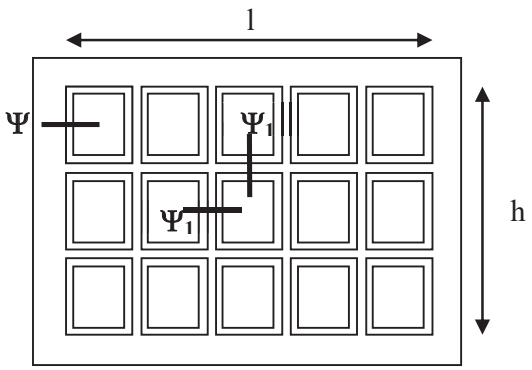


Figure 55– Vue de face d'un panneau

Où

U_g est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de la brique de verre calculé selon la norme NF EN 673 ;

Ψ_1 est le coefficient de transmission linéique induit par le joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimé en W/(m.K) ;

Ψ_2 est le coefficient de transmission linéique induit par le cadre périphérique de la paroi, exprimé en W/(m.K) ;

L_1 est la longueur totale ($\sum h + \sum l$) des joints intermédiaires, exprimée en m ;

L_2 est le périmètre de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m ;

A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m².

Les coefficients Ψ_1 et Ψ_2 se calculent numériquement en 2D selon la méthode de calcul décrite dans le document Méthodes - Ponts thermiques.

Le coefficient de transmission surfacique U_w peut également être calculé directement par une simulation numérique en 3D de la paroi complète. Dans ce cas, on doit appliquer la formule suivante :

$$U_w = \frac{\phi}{\Delta T \, A_w} \qquad \text{(Formule 79) ;}$$

Où

Φ est le flux de chaleur obtenu sur le modèle complet de la paroi et calculé numériquement en appliquant une condition adiabatique au contact entre le cadre périphérique et le gros œuvre, exprimé en W ;

ΔT est la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure, en K.

Des valeurs par défaut des coefficients U_g, Ψ_1 et Ψ_2 sont disponibles dans le document Applications - Parois vitrées au §2.10.

3.2.11.2 ***Facteur de transmission de l'énergie solaire Sw d'une paroi en brique de verre***

Le facteur solaire S_w d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$S_w = S_{w1} + S_{w2} \qquad \text{(Formule 80)}$$

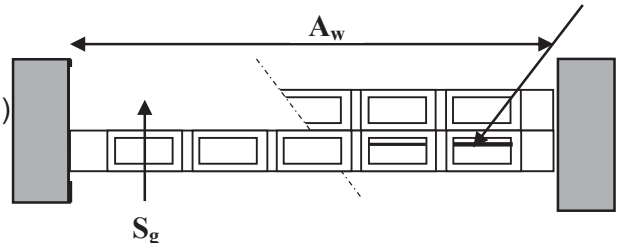


Figure 56– Coupe horizontale

$$S_{w1} = \frac{(l - N_l.e).(h - N_h.e)}{A_w}.S_{g1} \qquad \text{(Formule 81) ;}$$

$$S_{w2} = \frac{(l - N_l.e).(h - N_h.e)}{A_w}.S_{g2} + \frac{\alpha_{e1}.L_1.\Psi_1 + \alpha_{e2}.L_2.\Psi_2}{A_w.h_e} \qquad \text{(Formule 82) ;}$$

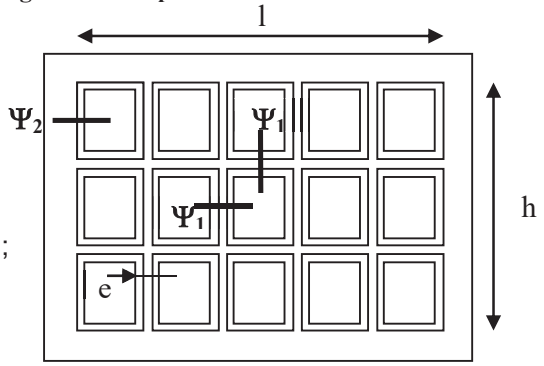


Figure 57– Vue de face d'un panneau

Où

Ψ_1 est le coefficient de transmission linéique induit par le joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimé en W/(m.K) ;

L_1 est la longueur totale ($\sum h + \sum l$) des joints intermédiaires, exprimée en m ;

α_{e1} est le coefficient d'absorption énergétique extérieur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, sans unité ; à défaut de valeurs mesurées considérer α_{e1} = 0,6.

Ψ_2 est le coefficient de transmission linéique induit par le cadre périphérique de la paroi, exprimé en W/(m.K) ;

L_2 est le périmètre de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m ;

α_{e2} est le coefficient d'absorption énergétique extérieur du cadre périphérique, sans unité ; à défaut de valeurs mesurées considérer α_{e2} = 0,6.

l est la longueur totale visible, exprimée en m ;

N_l nombre de briques dans le sens de la longueur ;

h est la hauteur totale visible, exprimée en m ;

N_h nombre de briques dans le sens de la hauteur ;

e Epaisseur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimée en m ;

A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m².

h_e est le coefficeint d'échange superficiel extérieur, exprimé en W/(m².K) ; à défaut de valeurs spécifiques considérer h_e = 25 W/(m².K)

S_{g1} Composante directe du facteur solaire qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_{g1} = F_{tot}.\tau_e \qquad \text{(Formule 83) ;}$$

Où :

τ_e Coefficient de transmission énergétique en partie courante qui se calcule selon la NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques des verres

Ftot Coefficient d'affaiblissement global du rayonnement solaire direct et diffus qui se détermine à partir du tableau suivant et du ratio de forme K_b de la brique :

$$K_b = \frac{l_b.h_b}{e_b.(l_b+h_b)} \qquad \text{(Formule 84) ;}$$

l_b Largeur d'une brique de verre

h_b Hauteur d'une brique de verre

e_b Epaisseur d'une brique de verre

K_b	F_{tot}
1 ou moins	**0,50**
2	**0,7**

5 ou plus	**0,85**

Pour les valeurs intermédiaires de K_b, une interpolation linéaire est possible.

S_{g2} Composante réémise du facteur solaire qui se calcule conformément à la norme NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques optiques des couches de verres composants les briques. L'impact des réflexions sur les joints à l'intérieur des briques est négligé. La réémission thermique est supposée identique en conditions de consommation C et en condition estivale E et se calcule en conditions de consommation C.

3.2.11.3 ***Facteur de transmission lumineuse Tli d'une paroi en brique de verre***

Le facteur de transmission lumineuse Tli d'une paroi en brique de verre se calcule d'après la formule suivante :

$$Tli = \frac{(l - N_l.e).(h - N_h.e)}{A_w}.TL_g \qquad \text{(Formule 85) ;}$$

Où

l est la longueur totale visible, exprimée en m ;

N_l nombre de briques dans le sens de la longueur ;

h est la hauteur totale visible, exprimée en m ;

N_h nombre de briques dans le sens de la hauteur ;

e Epaisseur du joint intermédiaire et les cloisons latérales des briques de verre, exprimée en m ;

A_w est la surface de l'ouverture dans laquelle est insérée la paroi en brique de verre, exprimée en m².

TL_g Facteur de transmission lumineuse qui se calcule à partir de la formule suivante :

$$TL_g = F_{tot}.\tau_v \qquad \text{(Formule 86) ;}$$

Où :

τ_v Coefficient de transmission lumineuse en partie courante qui se calcule selon la NF EN ISO 52022-3 à partir des caractéristiques des verres

Ftot Coefficient d'affaiblissement global du rayonnement solaire direct et diffus qui se détermine à partir du tableau suivant et du ratio de forme K_b de la brique :

$$K_b = \frac{l_b.h_b}{e_b.(l_b + h_b)}$$

l_b Largeur d'une brique de verre

h_b Hauteur d'une brique de verre

e_b Epaisseur d'une brique de verre

K_b	F_{tot}
1 ou moins	**0,50**
2	**0,7**
5 ou plus	**0,85**

Pour les valeurs intermédiaires de K_b, une interpolation linéaire est possible.

A défaut de valeurs de part diffusée, il convient de considérer que la transmission lumineuse se fait intégralement de manière diffuse pour ce type de paroi :

Tlid = Tli

3.2.11.4 ***Valeurs par défaut Sw et Tli des parois en briques de verre***

A défaut de valeurs calculées selon la méthode présentée au paragraphe §3.2.11.2 et 3.2.11.3, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées. Ces valeurs par défaut concernent un cas de brique de verre sans remplissage argon, sans couche peu émissive et sans protection solaire.

Description général du panneau:

- dimension 88x128 cm;
- constitué de briques de dimension 190x190x90 mm ;
- verre clair de 8 mm d'épaisseur. Caractéristiques optiques considérées :

- joint mortier entre brique de verre de 1 cm ;
- cadre en béton de 4,5 cm ;
- paroi vertical

Caractéristiques verre clair de 8 mm	**Spectre énergétique (solaire)**	**Spectre lumineux**
Transmission τ	0,78	0,78
Réflexion avant ρ	0,06	0,06
Réflexion arrière ρ'	0,06	0,06
Emissivité avant corrigée ε	0,84	-
Emissivité arrière corrigée ε'	0,84	-

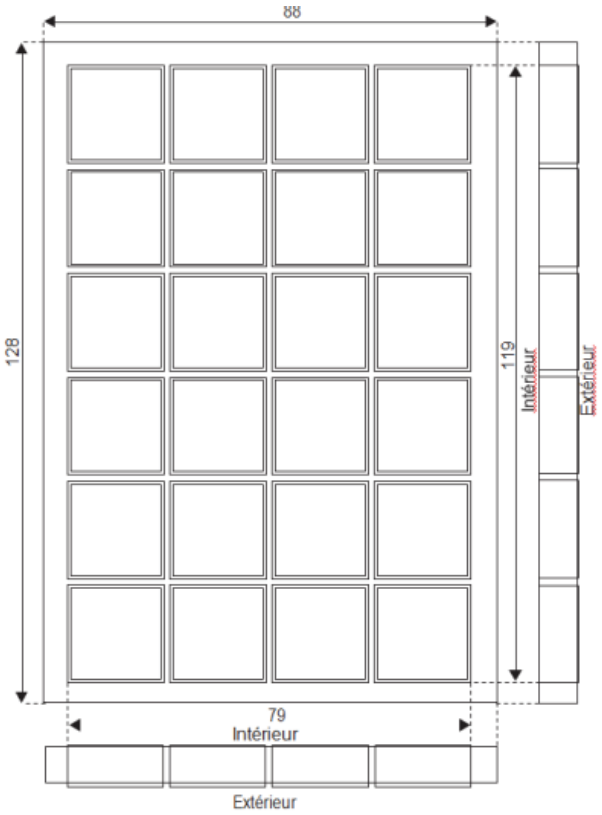


Figure 58: Panneau en briques de verre

Simple rangée de briques à 2 cloisons :

Données en partie courante d'après NF EN ISO 52022-3 :

$\tau_v = \tau_e$ =0,61

S_{g2} = 0,13

Données d'entrée

Nh = 6

Nl = 4

lb = 0,19 m

hb = 0,19 m

eb = 0,09 m

l = 0,79 m

h = 1,19 m

*e = (0,01+2*0,008) = 0,026 m*

L1 = 3x1,19 + 5x0,79 = 7,52 m

L2 = 2(1,19+0,79) = 3,96 m*

A_w = 1,28x0,88= 1,1264 m²

Ψ_1 = 0,06 W/(m.K) d'après valeurs par défauts briques de verre (xxx)

Ψ_2 = 0,12 W/(m.K) d'après valeurs par défauts briques de verre (xxx)

$\alpha_{e1} = \alpha_{e2}$ = 0,6

h_e = 25 W/(m².K)

Données intermédiaires

*K_b = 0,19² / (0,09*2*0,19) = 1,06*

F_{tot} = 0,5

*$S_{g1} = TL_g$ = 0,5*0,61 = 0,305*

*Sw1 = ((0,79-4*0,026)*(1,19-6*0,026)/1,1264)*0,305 = 0,6297 * 0,305 = 0,192*

*Sw2 = 0,6297 * 0,13 + 0,6*(7,52*0,06+3,96*0,12)/(1,1264*25) = 0,102*

Valeurs finales :

*Tli= Tlid = 0,6297*0,305 = 0,19*

Sw = 0,192 + 0,102 = 0,29

3.2.12 CONDUITS DE LUMIERE

3.2.12.1 ***Coefficient de transmission UCL d'un conduit de lumière***

Un conduit de lumière est utilisé pour acheminer la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Il est constitué de trois éléments essentiels qui sont le collecteur, le convoyeur revêtu d'un film ultra réfléchissant et le diffuseur.

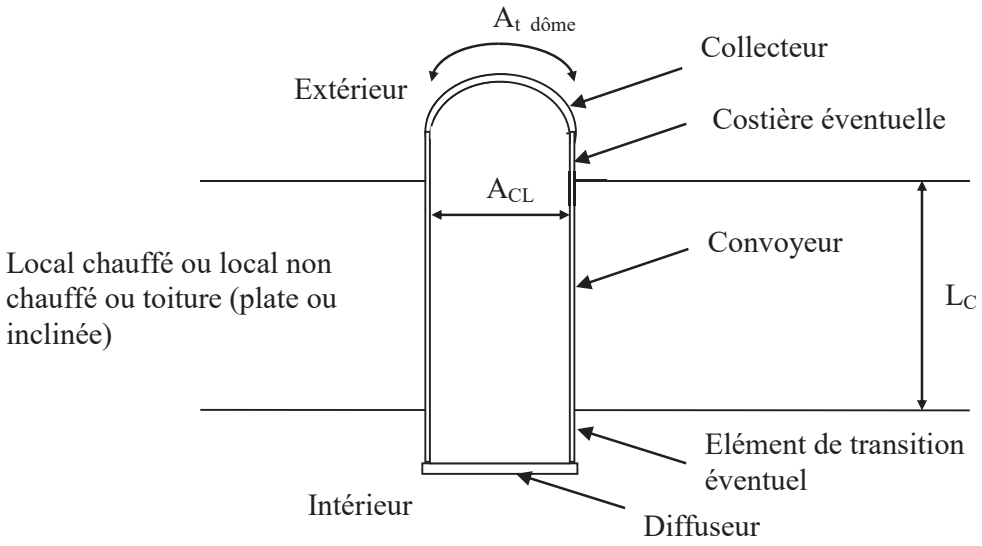


Figure 59 - Conduit de lumière

3.2.12.1.1 ***Conduit de lumière ne traversant pas un local***

Les coefficients de transmission surfacique à travers le conduit de lumière U_{CL} sont calculés comme suit :

$$U_{CL} = \frac{U_t.A_{CL}+\psi.L}{A_{CL}}$$ en W/m².K (Formule 87) ;

Où

A_{CL} est la surface du conduit de lumière, exprimée en m² ;

U_t est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de l'ensemble du conduit de lumière calculé comme suit :

$$U_t = \frac{1}{\sum R_{dôme}+\sum R_{diff}+R_{se}+R_{si}+R_{volume\_air}}$$ en W/m².K (Formule 88) ;

Où

$\Sigma R_{Dôme}$ est la somme des résistances thermiques des couches de remplissage du dôme, exprimée en m².K/W ;

ΣR_{diff} est la somme des résistances thermiques des couches de remplissage du diffuseur, exprimée en m².K/W ;

R_{si} est la résistance thermique superficielle intérieure ascendante, exprimée en m².K/W ;

R_{se} est la résistance thermique superficielle extérieure, exprimée en m².K/W ;

R_{volume_air} est la résistance thermique du volume d'air situé entre le dôme et le diffuseur, exprimée en m².K/W ; Par défaut R_{volume_air} sera pris égale à 0,16 m².K/W.

L est le périmètre du conduit de lumière, exprimé en m ;

ψ est le coefficient de transmission linéique global du procédé, exprimé en W/(m.K) et calculé comme suit :

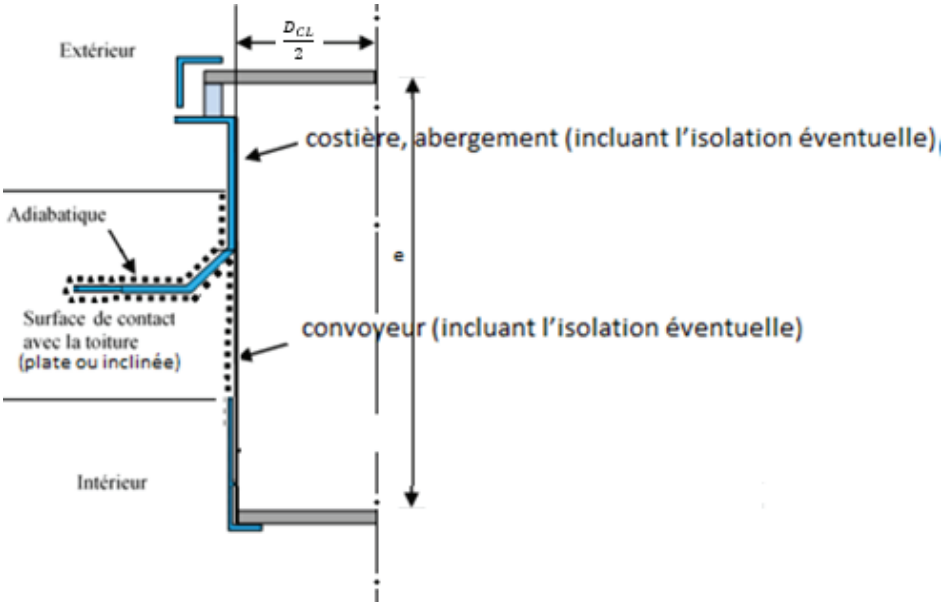


Figure 60 : vue 2D de la moitié d'un conduit de lumière passant par une toiture (plate ou inclinée)

$$\psi = \frac{\varphi}{\Delta T} - U_t \frac{D_{CL}}{2} \qquad \text{en W/m.K} \qquad \text{(Formule 89) ;}$$

Où

φ est le flux traversant l'ensemble du conduit et calculé numériquement en considérant une conductivité dans le volume d'air égale à e/0,16, (e étant la hauteur du volume d'air situé entre le diffuseur et le dôme en m) ; φ est exprimé en W/K.

Dans le cas où un élément de remplissage est inséré dans le conduit de lumière et sépare le volume d'air en deux volumes d'air, la modélisation pourra être réalisée en tenant compte des deux volumes d'air. Dans ce cas une conductivité thermique égale à e1/0,16 et e2/0,16 sera prise dans chacun des deux volumes d'air (avec e1 et e2 les hauteurs respectives des deux volumes d'air)

ΔT est la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, exprimé en K ;

$\frac{D_{CL}}{2}$ est le rayon du conduit de lumière, soit $\frac{D_{CL}}{2}$ en m ;

La Figure 60 donne une illustration des conventions de calcul à adopter dans le cas d'un conduit de lumière traversant une toiture.

3.2.12.1.2 ***Conduits de lumière traversant un local non chauffé***

Les coefficients de transmission surfacique à travers le conduit de lumière U_{CL} sont calculés comme suit :

$$U_{CL} = U_{diff} \cdot b' \qquad \text{en W/m².K} \qquad \text{(Formule 90) ;}$$

Où

U_{diff} est le coefficient de transmission surfacique du diffuseur, exprimé en W/(m².K) ;

b' est le coefficient de réduction des déperditions à l'intérieur du conduit de lumière, déterminé d'après la formule suivante :

$$b' = \frac{T_i - T_{CL}}{T_i - T_e}$$ (Formule 91) ;

T_i est la température intérieure fixée par convention à 20 °C ;
T_e est la température extérieure fixée par convention à 0°C ;
T_{CL} est la température à l'intérieur du conduit de lumière déterminée à partir de la relation suivante :

$$T_{CL} = \frac{U_{dôme} \cdot A_{CL} \cdot T_e + U_{conv} \cdot A_{conv} \cdot T_{LNC} + U_{diff} \cdot A_{CL} T_i}{U_{dôme} \cdot A_{CL} + U_{diff} \cdot A_{CL} + U_{conv} \cdot A_{conv}}$$ (Formule 92) ;

Où

T_{LNC} est la température dans le local non chauffé calculé à partir du coefficient de réduction de température b du local non chauffé déterminé d'après le fascicule Généralités, avec (T_e = 0°C et T_i = 20 °C), exprimée en K ;

A_{CL} est la surface projetée du conduit de lumière (section du conduit), exprimée en m² et calculé à partir de la relation suivante :

$$A_{CL} = \pi \cdot \frac{D_{CL}^2}{4}$$ (Formule 93) ;

A_{conv} est la surface déperditive du convoyeur, exprimée en m² et calculée à partir de la relation suivante :

$$A_{conv} = \pi \cdot D_{CL} \cdot L_{CL}$$ (Formule 94) ;

où

D_{CL} est le diamètre intérieur du conduit de lumière, exprimé en m ;

L_{CL} est la longueur du conduit de lumière, exprimé en m

Nota : Dans le cas d'un conduit de lumière non isolé et pour des longueurs supérieures à 1 mètre, il est possible de calculer la déperdition en remplaçant le coefficient de réduction b' par le coefficient de réduction b des déperditions du local non chauffé, déterminé d'après le fascicule Généralités.

Les coefficients de transmission surfacique du dôme $U_{dôme}$ et du diffuseur U_{diff} intègrent la déperdition à travers le profil de rive et se calculent à partir des relations suivantes :

$$U_{dôme} = \frac{U_{t\_dôme} \cdot A_{t\_dôme} + \psi_{dôme} \cdot P_{CL}}{A_{CL}}$$ W/(m².K) (Formule 95) ;

$$U_{diff} = \frac{U_{t\_diff} \cdot A_{t\_diff} + \psi_{diff} \cdot P_{CL}}{A_{CL}}$$ W/(m².K) (Formule 96) ;

Où

$U_{t\_dôme}$ est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante du remplissage du dôme, exprimé en W/(m².K) ;

$A_{t\_collecteur}$ est la surface développée du remplissage du collecteur, exprimée en m² ;

$\psi_{dôme}$ est le coefficient de transmission linéique du profil de rive du dôme incluant l'élément de costière éventuel, exprimé en W/(m.K). $\psi_{dôme}$ est calculé numériquement d'après la formule suivante :

$$\psi_{Dôme} = \frac{\phi_1}{\Delta T} - U_{t\ dôme} \times l_t$$ (Formule 97)

Avec

ϕ_1 est le flux de chaleur traversant le profil de rive du dôme calculé numériquement en considérant une longueur de convoyeur lc = 1m

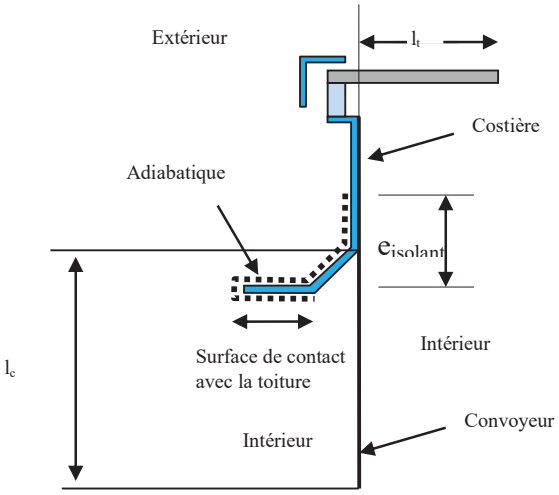


Figure 61 – Coupe du profil de rive du collecteur

U_{t_diff} est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante du remplissage du diffuseur, exprimé en W/(m².K) ;

A_{t_diff} est la surface développée du remplissage du diffuseur, exprimée en m² ;

ψ_{diff} est le coefficient de transmission linéique du profil de rive du diffuseur incluant l'effet de l'élément de transition éventuel, exprimé en W/(m.K). ψ_{diff} est calculé numériquement d'après la formule suivante :

$$\psi_{diff} = \frac{\varphi_1}{\Delta T} - U_{t\_diff} \times l_t \qquad \text{(Formule 98) ;}$$

Avec

ϕ_1 est le flux de chaleur traversant le profil de rive du diffuseur calculé numériquement en considérant une longueur de convoyeur lc = 1m

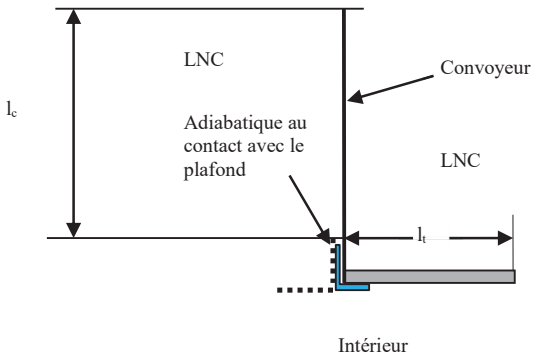


Figure 62 – Coupe du profil de rive du diffuseur

P_{CL} est le périmètre intérieur du conduit de lumière, en m.

3.2.12.1.3 ***Conduits de lumière traversant un local chauffé***

Les coefficients de transmission surfacique à travers le conduit de lumière U_{CL} sont calculés comme suit :

$$U_{CL} = \frac{U_{diff} \times A_{CL} + U_{conv} \times A_{conv}}{A_{CL}} \times b$$ (Formule 99) ;

Où

b est le coefficient de réduction des déperditions correspondant au conduit de lumière:

$$b = \frac{U_{dôme}\ A_{CL}}{U_{dôme}\ A_{CL} + U_{diff}\ A_{CL} + U_{conv}\ A_{conv}}$$ (Formule 100) ;

Nota **:** Dans le cas particulier d'un conduit de lumière traversant un local non chauffé puis un local chauffé, un calcul de coefficients U_{CL1} et U_{CL2} sera nécessaire en supposant successivement que le conduit est entièrement dans le local chauffé puis entièrement dans le local non chauffé. Le coefficient U_{CL} moyen se calculera ensuite par simple pondération des coefficients U_{CL1} et U_{CL2} obtenus par les longueurs de conduits en contact avec le local non chauffé et le local chauffé.

$$U_{CL\,moyen} = \frac{U_{CL1} \cdot L_1 + U_{CL2} \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$ (Formule 101) ;

;

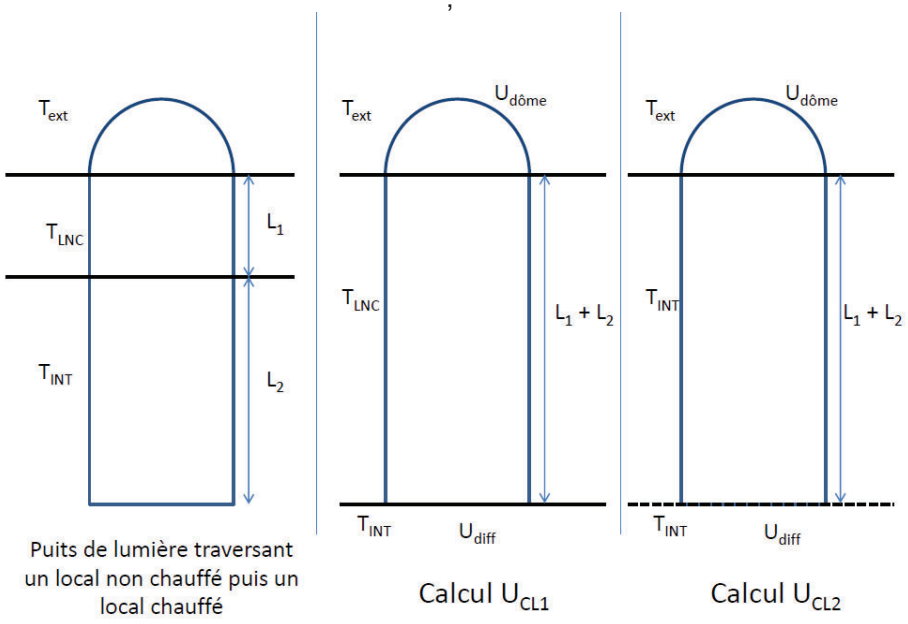


Figure 63 – Convention de calcul dans le cas d'un conduit de lumière traversant un local non chauffé puis un local chauffé

3.2.12.2 ***Facteur de transmission solaire Sw d'un conduit de lumière***

En l'absence de valeur spécifiée dans un Avis Technique ou un Document Technique d'Application, les composantes du facteur de transmission de l'énergie solaire s'obtiennent par les formules suivantes :

$$Sw_1 = Tli_{sp,b\ conduit} \quad \text{(Formule 102) ;}$$
$$Sw_2 = Sw_3 = 0 \quad \text{(Formule 103) ;}$$

Où $Tli_{sp,b\ conduit}$ est le facteur de transmission lumineuse du conduit de lumière, calculé selon le paragraphe 3.2.12.3.

3.2.12.3 ***Facteur de transmission lumineuse TLw d'un conduit de lumière***

Un conduit de lumière est utilisé pour acheminer la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Il est constitué de trois éléments essentiels qui sont le collecteur, le convoyeur ultra réfléchissant et le diffuseur.

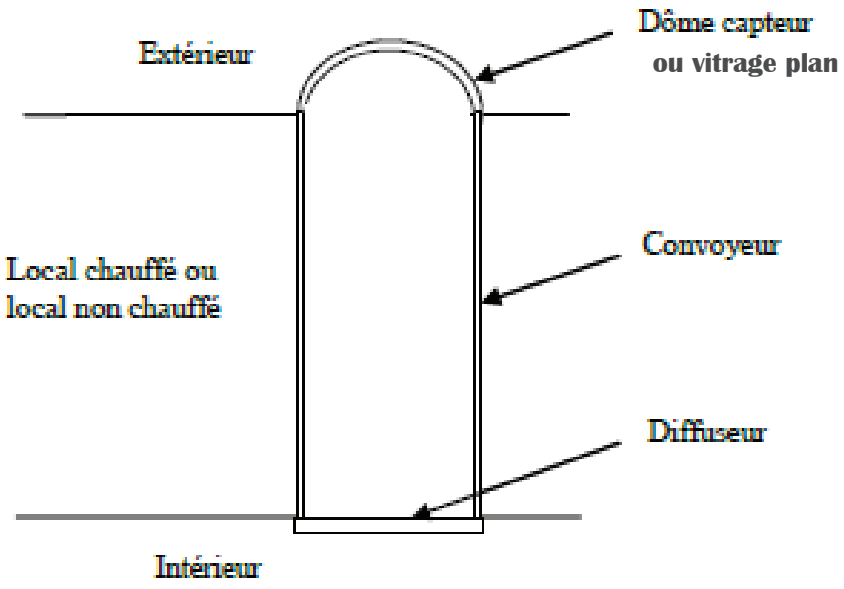


Figure 64 - Conduit de lumière

Le convoyeur quant à lui est composé d'un ou plusieurs tubes et d'un ou plusieurs coudes réfléchissants.

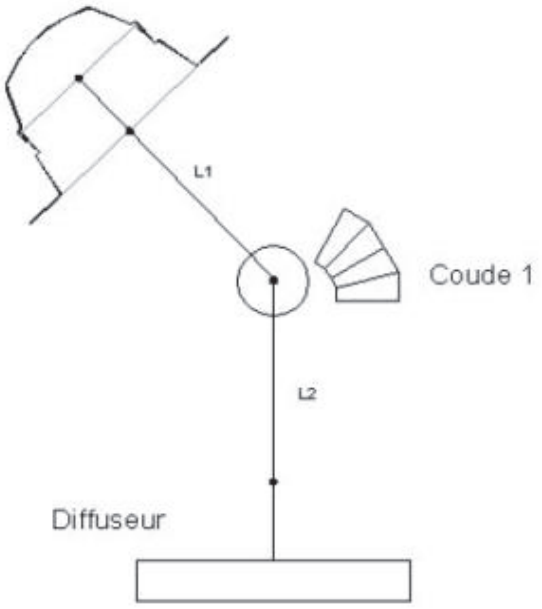


Figure 65 – Détail du convoyeur

Cette méthode de calcul se limite au cas des diffuseurs plans non diffractant et considère que le diffuseur du conduit de lumière converti l'intégralité du flux lumineux sous forme diffuse.

Le coefficient de transmission lumineuse équivalent d'un conduit de lumière est calculé comme suit :

$$Tli_{sp,b\ conduit} = \eta_{capteur} \times \eta_{convoyeur} \times \eta_{diffuseur}$$
$$Tlid_{sp,b\ conduit} = Tli_{sp,b\ conduit}$$

(Formule 104) ;

$\eta_{capteur}$ rendement lumineux global du capteur, dépendant notamment de son diamètre

$\eta_{convoyeur}$ rendement lumineux global du convoyeur, dépendant notamment de son diamètre et obtenu par la formule suivante :

$$\eta_{convoyeur} = (\eta_{tube\ 1} \times \eta_{tube\ 2} \times \ldots \times \eta_{tube\ n}) \times (\eta_{coude\ 1} \times \eta_{coude\ 2} \times \ldots \times \eta_{coude\ m})$$

(Formule 105) ;

avec :

$\eta_{tube\ i}$ rendement lumineux du tube droit i du convoyeur, dépendant notamment de la longueur du tube et des pertes engendrées par les différents raccords entre tubes.

$\eta_{coude\ j}$ rendement lumineux du coude j du convoyeur. En l'absence de coude, on considère que $\eta_{coude\ j} = 1$.

$\eta_{diffuseur}$ rendement lumineux global du diffuseur, dépendant notamment de son diamètre

Tous les rendements lumineux doivent être mesurés conformément au Rapport Technique du CIE/TC 3-38 n°173:2006 « Tubular daylight guidance systems ».

3.2.13 FAÇADES RIDEAUX

3.2.13.1 ***Coefficient de transmission thermique Ucw des façades rideaux***

Ne sont concernées par ce paragraphe que les façades rideaux définies au paragraphe 3.1.5 et par la norme NF DTU 33.1.

Dans le cas d'une façade rideau marquée CE le coefficient U_{cw} doit être déterminé en se référant directement à la norme produit harmonisée européenne NF EN 13051. Dans les autres cas, le coefficient de transmission thermique U_{cw} de la façade rideau peut être calculé selon la méthode suivante :

La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN ISO 12631.

Pour calculer le coefficient surfacique moyen d'une façade rideau, on procède de la manière suivante :

1 – on divise la façade en modules.

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

2 – on détermine les coefficients surfaciques et linéiques des éléments de chaque module.

Chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage vitrés ou opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques. La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans la norme NF EN ISO 12631.

3 – on détermine le coefficient surfacique moyen U_{cwi} de chaque module, conformément à la norme NF EN ISO 12631.

4 – on détermine le coefficient surfacique moyen de la façade.

Le coefficient surfacique moyen de la façade $U_{cw,tot}$, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{cw,\,tot} = \frac{\sum (U_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}} \qquad \text{(Formule 106) ;}$$

Où

$U_{cw,tot}$ est le coefficient surfacique moyen de la façade rideau, en W/(m^2.K) ;

U_{cwi} est le coefficient surfacique moyen du module i, en W/(m^2.K) ;

A_{cwi} est l'aire projetée du module i, en m^2.

3.2.13.2 ***Facteurs solaires Scw des façades rideaux***

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777.

- Division de la façade en modules. Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade rideau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

  Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

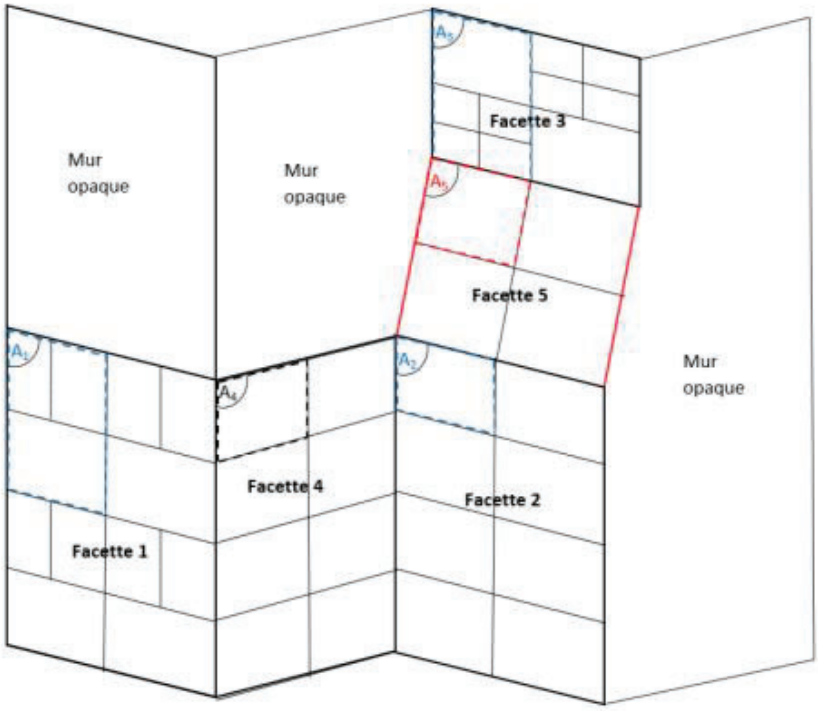


Figure 66 – Découpage de la façade en module et en facettes

$$A_{moy1} = 4.A_1$$

$$A_{moy2} = 8.A_2$$

$$A_{moy3} = 2.A_3$$

$$A_{moy4} = 8.A_4$$

$$A_{moy5} = 4.A_5$$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur règlementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner pour le calcul des facteurs solaires des facettes sont les surfaces extérieures.

- Calcul des facteurs solaires et de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré ou opaque, profilés de menuiserie), à l'aide de la norme XP P50-777.

- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire moyen S_{cwi} et S_{cwsi} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.3.2.2 et de la norme XP P50-777.

  Note 1 : les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

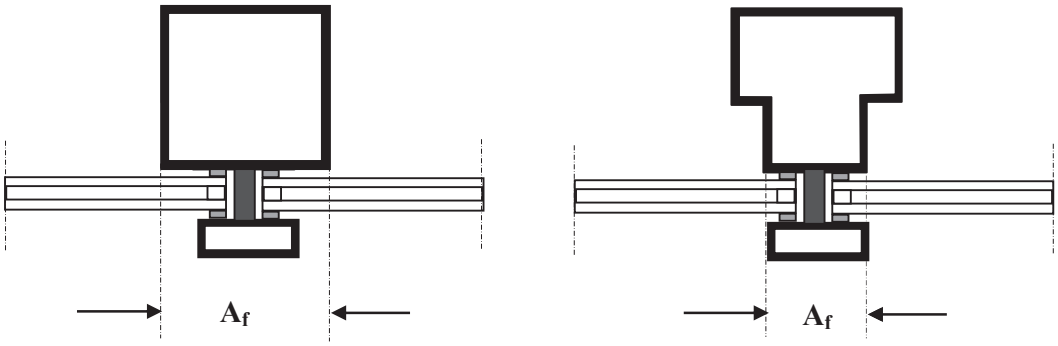


Figure 67 – Aires projetées visibles de la menuiserie

  Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §.3.3.2.3.3).

- Renseignement de la façade rideau dans la méthode Th-BCE 2020 : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). Les apports solaires supplémentaires au niveau des nez de dalle peuvent être comptabilisés sous forme d'apport linéique dépendant du pont thermique de liaison entre la façade et la dalle / refend (cf. document Méthodes - fascicule Ponts thermiques). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

3.2.13.3 *Facteurs de transmission lumineuse TLcw des façades rideaux*

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777.

- Division de la façade en modules. Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade rideau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

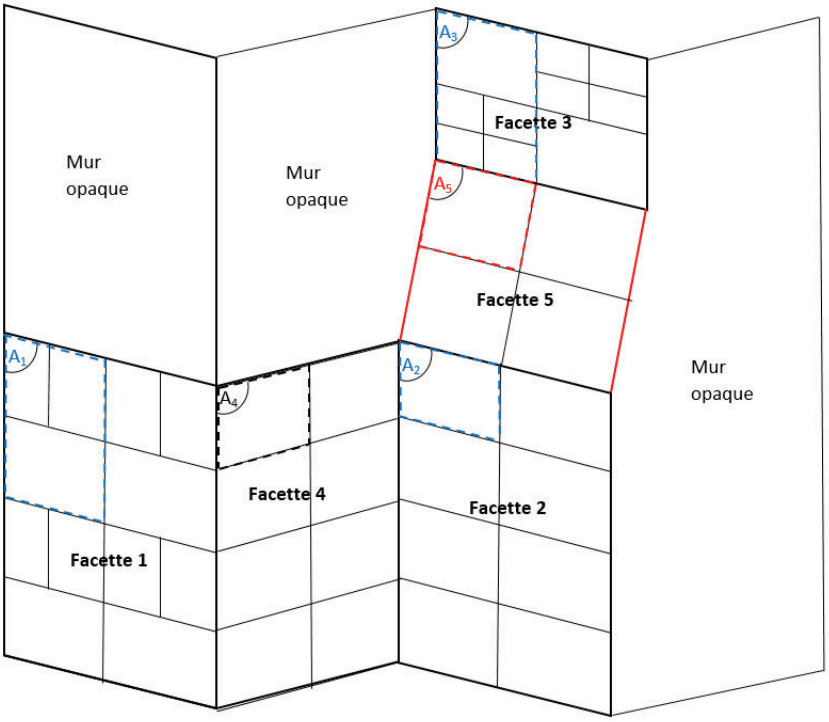


Figure 68 – Découpage de la façade en module et en facettes

$$A_{moy1} = 4.A_1$$

$$A_{moy2} = 8.A_2$$

$$A_{moy3} = 2.A_3$$

$$A_{moy4} = 8.A_4$$

$$A_{moy5} = 4.A_5$$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur règlementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner pour le calcul des transmissions lumineuses des facettes sont les surfaces extérieures.

- Calcul de transmission lumineuse des différents éléments de chaque facette (éléments de remplissage vitré), à l'aide de la norme XP P50-777.
- Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen TL_{cwi} et TL_{cwsi} de chaque facette i en fonction de la présence ou non de protection solaire, à partir du paragraphe 3.3.3.1 et de la norme XP P50-777.

Note 1 : les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

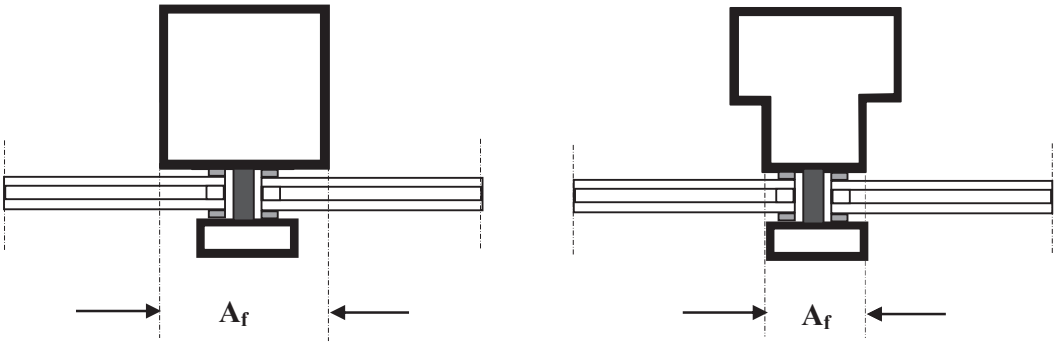


Figure 69 – Aires projetées visibles de la menuiserie

Note 2 : dans la majorité des cas, le correctif appliqué se limite à la correction d'angle d'incidence (cf. §. 3.3.3.2.3). Dans le cas d'une présence de poteaux structurels ou de poutres à retombée situés à moins d'un mètre de la façade, un correctif supplémentaire F_p doit être introduit :

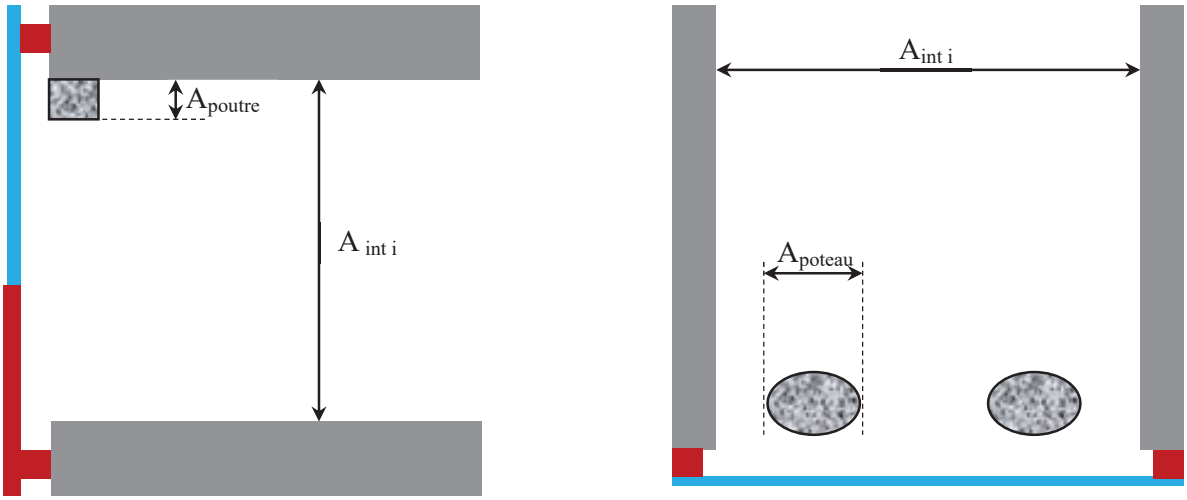


Figure 70 – Descriptif de la façade rideau

Où :
$A_{int\ i}$: Surface intérieure de la facette i, en m²
$A_{poutre\ j}$: Surface de la poutre à retombée j, en m²
$A_{poteau\ j}$: Surface projetée sur la façade du poteau j, en m²

- Renseignement de la façade rideau dans Th-BCE 2020 : la façade rideau se décrit sous la forme de plusieurs facettes différentes, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade. Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces intérieures de chaque facette (après déduction des épaisseurs de planchers et de refends). L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains (par exemple les facettes 4 et 2 se masquent entre-elles dans l'exemple ci-dessus).

3.2.14 FAÇADES DOUBLE PEAU

3.2.14.1 *Coefficient de transmission thermique Ucw des façades double peau*

La présente méthode s'applique aux façades multiples ou multi-parois, et dont la lame d'air est :

- Ventilée naturellement sur l'extérieur par des orifices de ventilation dont les sections sont définies dans le paragraphe 5.6.1.6 de la norme NF DTU 33.1
- Faiblement ventilée sur l'extérieur, par des orifices de ventilation de sections inférieures à celles définies dans le paragraphe 5.6.1.6 de la norme NF DTU 33.1.

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance énergétique des façades double peau sont :

- La nature du vitrage utilisé en particulier pour la peau intérieure (simple, double, double avec faible émissivité, double avec faible émissivité et remplissage gaz lourd, triple, vitrage à contrôle solaire…)
- Le type de profilé utilisé (avec ou sans rupture de pont thermique)
- La géométrie de la façade (nombre de profilés, ratio clair moyen…)
- Les sections de ventilation de l'espace d'air entre peaux en parties haute et basse de la façade
- La présence ou non de protections solaires pour réduire les apports solaires estivaux et limiter ainsi le recours au système de refroidissement
- La nature des protections solaires employées en particulier leurs propriétés diffusantes pour obtenir une ambiance lumineuse intérieure de qualité et limiter ainsi le recours à l'éclairage artificiel

La présente méthode s'applique aux façades dont l'inclinaison est supérieure à 60°.

Le calcul du coefficient de transmission thermique U_{cw} de la façade double peau dépend du degré de ventilation de l'espace d'air entre peaux. Les méthodes indiquées ci-après sont des méthodes simplifiées donnant des valeurs sécuritaires et basées sur les normes de calcul existantes en particulier l'Annexe D de la norme NF EN ISO 12631. Des études au cas par cas peuvent toutefois permettre de préciser l'impact de l'espace d'air ventilé.

De plus, les méthodes se limitent à des espaces d'air ventilés naturellement (sans ventilation mécanique) et de largeur inférieure à 300 mm. Toutefois, en l'absence de méthode existante pour des largeurs supérieures, on considère par hypothèse que les méthodes suivantes sont également valables pour des largeurs supérieures 300 mm.

3.2.14.1.1 *Espace d'air fortement ventilé (au sens de la norme NF EN ISO 6946)*

L'espace d'air entre peaux est considéré comme fortement ventilée sur l'extérieur si les sections des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade sont supérieures à 1500 mm² par mètre de longueur horizontale, ce qui correspond à une fente continue de largeur supérieure à 1,5 mm.

Dans ce cas, le calcul du coefficient de transmission thermique de la façade double peau s'obtient par la formule suivante :

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1}{U_{cw2}} + 0{,}09}$$ (Formule 107) ;

Où :

U_{cw2} est le coefficient de transmission thermique de la peau intérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs…) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K).

Nota : La valeur de 0,09 m².K/W correspond à l'écart entre les résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure calculées conformément à la norme NF EN ISO 6946.

3.2.14.1.2 ***Espace d'air faiblement ventilé (au sens de la norme NF EN ISO 6946)***

L'espace d'air entre peaux est considéré comme faiblement ventilée sur l'extérieur si les sections des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade sont inférieures à 1500 mm² par mètre de longueur horizontale, ce qui correspond à une fente continue de largeur inférieure à 1,5 mm.

Dans ce cas, le calcul du coefficient de transmission thermique de la façade double peau s'obtient par la formule suivante :

$$U_{cw} = \frac{1}{\frac{1500 - A_v}{1000} \times R_{cw,u} + \frac{A_v - 500}{1000} \times R_{cw,v}}$$ (Formule 108) ;

Où :

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente avec espace d'air non ventilé, en m².K/W, calculé comme suit :

$$R_{cw,u} = \frac{1}{U_{cw1}} + \frac{1}{U_{cw2}} + R_s - 0{,}17$$ (Formule 109) ;

$R_{cw,v}$ est la résistance thermique équivalente avec espace d'air fortement ventilé, en m².K/W, calculé comme suit :

$$R_{cw,v} = \frac{1}{U_{cw2}} + 0{,}09$$ (Formule 110) ;

A_v est la section des orifices de ventilations en parties haute et basse de la façade, en mm² ;

U_{cw2} est le coefficient de transmission thermique de la peau intérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs…) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K) ;

U_{cw1} est le coefficient de transmission thermique de la peau extérieure de la façade tenant compte des tous ses composants (vitrage, profilés, espaceurs…) et calculé conformément à la norme NF EN ISO 12631, en W/(m².K) ;

R_s est la résistance thermique équivalente de l'espace d'air supposé non ventilé, en m².K/W, calculée à l'aide de la norme NF EN ISO 6946. En pratique, pour des largeurs de l'espace d'air comprises entre 25 et 300 mm, une valeur unique peut être prise : R_s = 0,18 m².K/W.

Des valeurs par défaut des coefficients U_{cw} des façades double peau sont disponibles dans le document Applications - fascicule Parois vitrées au §2.8.

Nota 1 : Les valeurs de 0,09 m².K/W et de 0,17 m².K/W correspondent respectivement à l'écart entre les résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure calculés conformément à la norme NF EN ISO 6946, et à leur somme.

Nota 2 : Du fait de la position de la protection solaire dans la double peau et de sa faible épaisseur, le gain thermique apporté par cette protection sur le coefficient de transmission thermique est négligeable.

3.2.14.2 *Calcul des facteurs de transmission solaire Scw et lumineuse TLcw des façades double peau*

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777. Une méthode simplifiée est proposée pour calculer le facteur de transmission solaire et lumineuse des vitrages. Dans le cas où une protection solaire est présente entre peaux, il est nécessaire de calculer également les facteurs S_{cws} et TL_{cws} correspondant à la façade double peau avec protections solaires pleinement déployées.

Les méthodes indiquées ci-après sont des méthodes simplifiées donnant des valeurs sécuritaires en terme de confort estival et basées sur les normes de calcul existantes (XP P50-777, NF EN 410, ISO 52022-1). Des études au cas par cas peuvent toutefois permettre de préciser l'impact de l'espace d'air ventilé.

Cette méthode se limite à la prise en compte de protections solaires entre peaux, sans lames inclinées et ne traite pas des brise-soleil. Les protections solaires doivent de plus avoir des caractéristiques de transmission et de réflexion énergétiques comprises dans la gamme suivante : $\tau_{e,B} < 0.5$ et $0.1<\rho_{e,B}<0.8$.

Le principe général consiste à découper la façade en éléments d'orientation et d'inclinaison identiques et de calculer d'abord pour chaque élément la transmission lumineuse ainsi que la composante directe du facteur solaire (S_{cw1}) de la peau extérieure. Toutes les composantes de la double peau sont ensuite déduites par une méthode d'assemblage simplifiée :

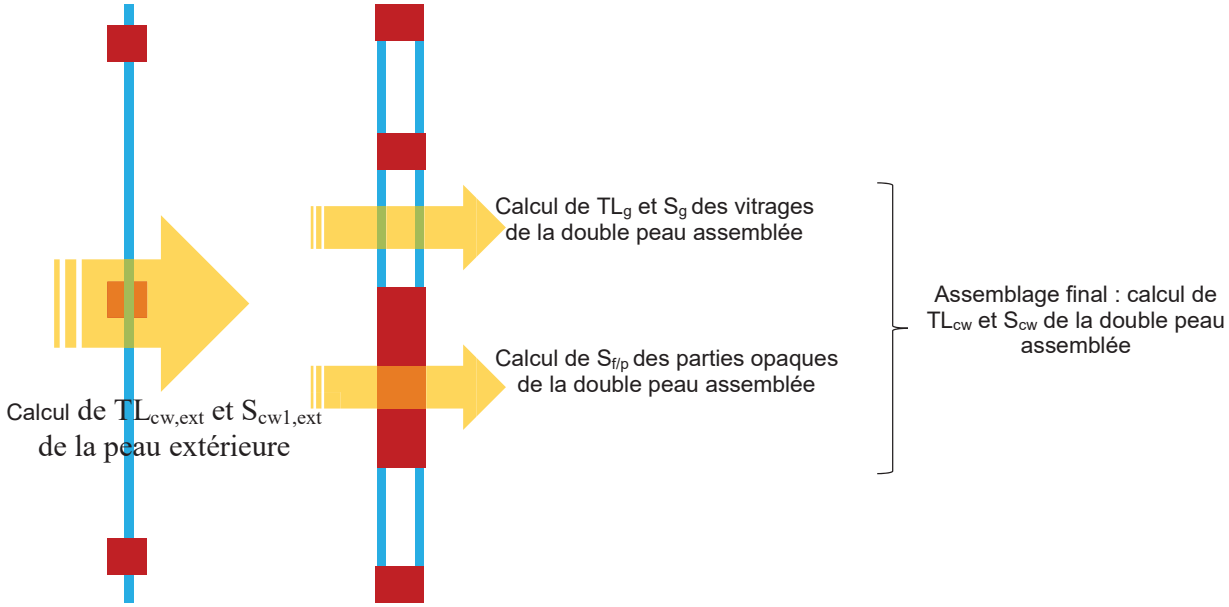


Figure 71 – Façade double peau

Note 1 : de manière générale, toutes les hypothèses simplificatrices retenues dans cette méthode conduisent à surestimer les facteurs de transmission solaire et lumineux, ce qui est sécuritaire en terme de confort d'été. En particulier, la lame d'air entre peau est supposée non ventilée. Pour les valeurs des facteurs solaires sans protection, il est considéré que les valeurs calculées sont valables aussi bien en condition de consommation qu'en condition de confort d'été ($S_{cw}^{C}=S_{cw}^{E}=S_{cw}$).

Note 2 : en toute rigueur un correctif pour prendre en compte les incidences rasantes devrait être appliqué. En effet, les calculs réalisés ne sont valables théoriquement qu'à incidence normale au vitrage. Toutefois, du fait des simplifications déjà utilisées, du faible impact de cette correction et par soucis de simplification, ce correctif n'est pas retenu.

3.2.14.2.1 ***Division de la façade en modules.***

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la façade double peau. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Les modules doivent ensuite être regroupés par facette en fonction de leur inclinaison et de leur orientation, par exemple :

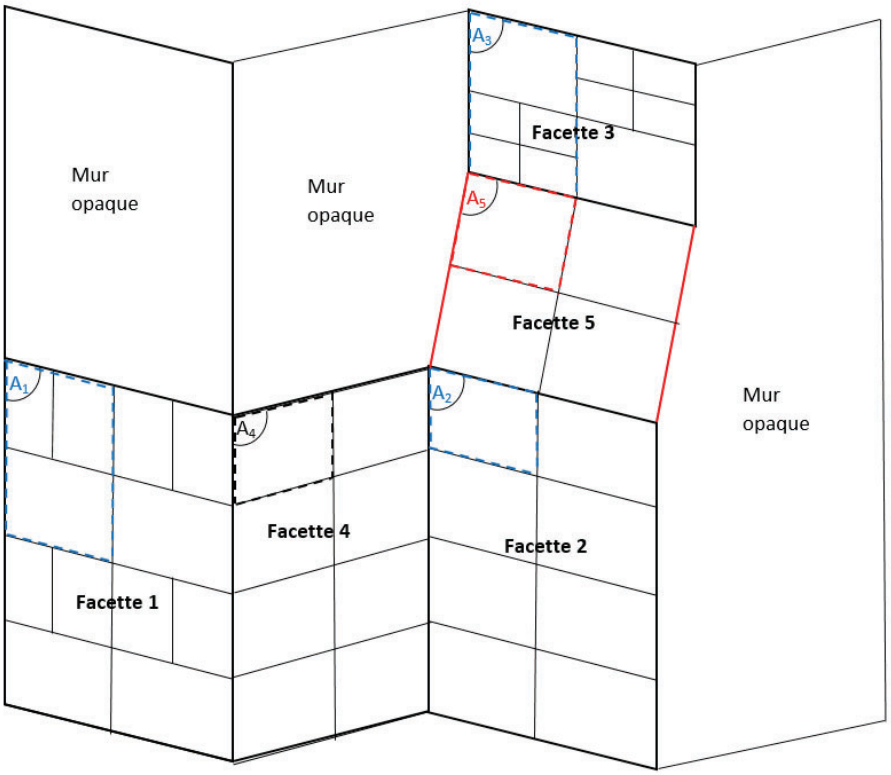


Figure 72 – Découpage de la façade en module et en facettes

$A_{moy1} = 4.A_1$

$A_{moy2} = 8.A_2$

$A_{moy3} = 2.A_3$

$A_{moy4} = 8.A_4$

$A_{moy5} = 4.A_5$

Note 1 : pour les façades courbes et de manière à éviter la surabondance de données à renseigner dans le moteur règlementaire, une orientation moyenne peut être utilisée.

Note 2 : les surfaces à renseigner sont comptabilisée côté intérieur de dalle (ou refend) à dalle (ou refend). Les apports solaires supplémentaires au niveau des nez de dalle peuvent être comptabilisés sous forme d'apport linéique dépendant du pont thermique

de liaison entre la façade et la dalle / refend (cf. document Méthodes – fascicule Ponts thermiques*).*

Note 3 : Si les modules ainsi définis recouvrent plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, ils doivent toutefois être redécoupés en conséquence.

3.2.14.2.2 *Calcul des facteurs de transmission lumineuse et de transmission solaire directe (Scw1) pour la peau extérieure et chaque facette i*

Pour chaque facette identifiée précédemment, les facteurs de transmission lumineuse $TL_{cw,i}$ et la composante directe du facteur solaire $S_{cw1,i}$ de la peau extérieure sont calculés :

$$S_{cw1,i,ext} = \frac{\sum \tau_{e,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad \text{(Formule 111) ;}$$

$$TL_{cw,i,ext} = \frac{\sum \tau_{v,ext} A_{g,ext}}{\sum (A_{g,ext} + A_{f,ext} + A_{p,ext})} \quad \text{(Formule 112) ;}$$

$A_{g,ext}$ [1] est la plus petite aire visible du vitrage de la peau extérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

$A_{f,ext}$ [1] est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau extérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2.

$A_{p,ext}$ [1] est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau extérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

$\tau_{e,ext}$, $\tau_{v,ext}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau extérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

[1] les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

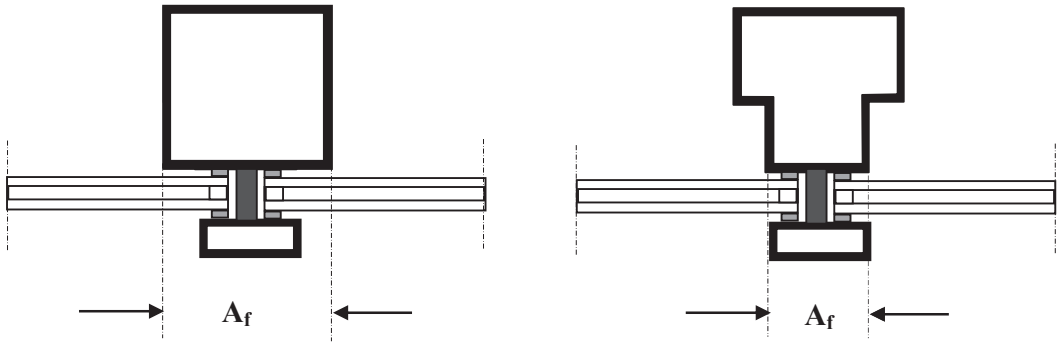


Figure 73 – Aires projetées visibles de la menuiserie

3.2.14.2.3 *Calcul des composantes de la double peau sans protection solaire pour chaque facette i*

Le principe consiste à corriger les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse de la peau intérieure à partir des caractéristiques de la peau extérieure.

3.2.14.2.3.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

$$\left.\begin{array}{c} S_{g1} = \frac{\tau_{e,int} \times S_{cw1,i,ext}}{1-\rho_{e,int} \times \rho'_{e,ext}} \\ S_{g2} = \frac{1}{R_{cw,u}+0.17} . \left(\frac{\alpha_{e1}+\alpha_{e2}}{23} + \alpha_{e2} . R_{cw,u} \right) \\ S_{g3} = 0 \end{array}\right\} S_g = S_{g1} + S_{g2} + S_{g3} \quad \text{(Formule 113) ;}$$

$$TL_g = \frac{\tau_{v,int} \times TL_{cw,i,ext}}{1-\rho_{v,int} \times \rho'_{v,ext}} \quad \text{(Formule 114) ;}$$

$$TL_{g,dif} = 0$$

Avec :

$$\alpha_{e1} = 1 - S_{cw1,i,ext} - \rho_{e,ext} + \frac{S_{cw1,i,ext} \cdot \rho_{e,int} \cdot \left(1 - S_{cw1,i,ext} - \rho'_{e,ext}\right)}{1-\rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 115) ;}$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\left(1-\tau_{e,int}-\rho_{e,int}\right) \cdot S_{cw1,i,ext}}{1-\rho'_{e,ext} \cdot \rho_{e,int}} \quad \text{(Formule 116) ;}$$

Où :

$\tau_{e,int}$, $\tau_{v,int}$, $\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau intérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho_{e,ext}$, $\rho_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau extérieure dans le sens du rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho'_{e,ext}$, $\rho'_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau extérieure côté opposé au rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu de la peau intérieure dans le sens du rayonnement, déterminées selon la norme NF EN 410.

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.3.2.14.2.2

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en m².K/W, déterminé selon le §.3.2.14.1.2.

Note 1 : ces formules sont basées sur le norme NF EN 410 en considérant en particulier que la lame d'air entre peaux est non ventilée, ce qui est sécuritaire en terme de confort estival.

Note 2 : ces formules supposent que la réflexion énergétique et lumineuse des éléments opaques éventuellement présents dans les peaux est identique à celle des vitrages des peaux.

3.2.14.2.3.2 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

$$S_f = S_{cw1,i,ext}.\frac{\alpha_f.U_f}{25} + \frac{1-S_{cw1,i,ext}-\rho'_{e,ext}}{10.\left(\frac{1}{U_f}+0.3\right)} + \frac{S_{cw1,i,ext}.\left(1-\frac{\alpha_f.U_f}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_f}+0.3\right)}$$

$$S_p = S_{cw1,i,ext}.\frac{\alpha_p.U_p}{25} + \frac{1-S_{cw1,i,ext}-\rho'_{e,ext}}{10.\left(\frac{1}{U_p}+0.3\right)} + \frac{S_{cw1,i,ext}.\left(1-\frac{\alpha_p.U_p}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_p}+0.3\right)}$$

(Formule 117) ;

Où U_f et U_p sont les coefficients de transmission thermique des profilés et des remplissages opaques de la peau intérieure, calculés selon la norme NF EN ISO 10077-2.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$

3.2.14.2.3.3 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen Scwi et TLcwi de chaque facette.

$$S_{cw1,i} = \frac{\sum S_{g1} A_{g,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$

(Formule 118) ;

$$S_{cw2,i} = \frac{\sum S_{g2} A_{g,\text{int}} + \sum S_f A_{f,\text{int}} + \sum S_p A_{p,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$

(Formule 119) ;

$$S_{cw3,i} = S_{cws3,i} = 0$$

$$TL_{cw,i} = \frac{\sum TL_g A_{g,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$

(Formule 120) ;

$$TL_{cw,dif,i} = 0$$

où

$A_{g,int}$ (1) est la plus petite aire visible du vitrage de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

$A_{f,int}$ (1) est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau intérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2.

$A_{p,int}$ (1) est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

TL_g est le facteur de transmission lumineuse sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.3.1.

S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §. 3.2.14.2.3.1.

S_{g2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §. 3.2.14.2.3.1.

S_f est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.3.2.

S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.3.2.

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

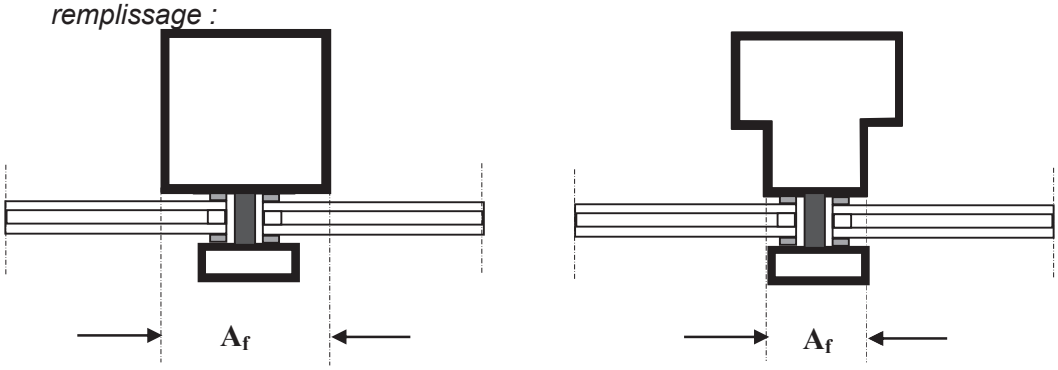


Figure 74 – Aires projetées visibles de la menuiserie

3.2.14.2.4 *Calcul des composantes de la double peau avec protection solaire pour chaque facette i*

Le principe consiste à corriger les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse de la peau intérieure à partir des caractéristiques de la peau extérieure et de la protection solaire intégrée.

3.2.14.2.4.1 Calcul des composantes des vitrages d'une facette i

$$\left.\begin{aligned} S_{gs1} &= \frac{\tau_{e,int}\cdot\tau_{e,B}\cdot S_{cw1,i,ext}}{\left(1-\rho'_{e,ext}\cdot\rho_{e,B}\right)\cdot\left(1-\rho_{e,int}\cdot\rho_{e,B}\right)-\tau_{e,B}^2\cdot\rho'_{e,ext}\rho_{e,int}} \\ S_{gs2} &= 0.02 + S_g\cdot\tau_{e,B} + \frac{S_g\cdot\left(1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}+\left(1-S_g\right)\cdot\rho_{e,B}\right)}{3\cdot\left(R_{cw,u}+0.17\right)+1} - S_{gs1} \\ S_{gs3} &= 0 \end{aligned}\right\} S_{gs} = S_{gs1} + S_{gs2} + S_{gs3}$$

(Formule 121) ;

$$TL_{gs} = \frac{\tau_{v,int}\cdot\tau_{v,B}\cdot TL_{cw,i,ext}}{\left(1-\rho'_{v,ext}\cdot\rho_{v,B}\right)\cdot\left(1-\rho_{v,int}\cdot\rho_{v,B}\right)-\tau_{v,B}^2\cdot\rho'_{v,ext}\rho_{v,int}}$$

$$TL_{gs,dif} = \frac{\tau_{v,int}\cdot\tau_{v,B,dif}\cdot TL_{cw,i,ext}}{\left(1-\rho'_{v,ext}\cdot\rho_{v,B}\right)\cdot\left(1-\rho_{v,int}\cdot\rho_{v,B}\right)-\tau_{v,B}^2\cdot\rho'_{v,ext}\rho_{v,int}}$$

(Formule 122) ;

Où :

$\tau_{e,int}$, $\tau_{v,int}$, $\rho_{e,int}$, $\rho_{v,int}$ sont les caractéristiques globales du vitrage nu de la peau intérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$\rho'_{e,ext}$, $\rho'_{v,ext}$ sont les caractéristiques de réflexion globales du vitrage nu côté opposé au rayonnement de la peau extérieure, déterminées selon la norme NF EN 410.

$S_{cw1,i,ext}$ et $TL_{cw,i,ext}$ sont les facteurs de transmission solaire direct et lumineuse de la peau extérieure de la facette i considérée, déterminé selon le §.3.2.14.2.2.

$\tau_{e,B}$, $\tau_{v,B,dif}$, $\rho_{e,B}$, $\rho_{v,B}$, sont les caractéristiques globales de la protection solaire intégrée entre peau, déterminées selon la norme NF EN 14500.

S_g est le facteur de transmission solaire global des vitrages de la double peau assemblée sans protection solaire, déterminé selon la norme NF EN 410.

$R_{cw,u}$ est la résistance thermique équivalente de la double peau avec espace d'air non ventilé, en m².K/W, déterminé selon le §.3.2.14.1.2.

Note 1 : ces formules simplifiées se basent sur les normes NF EN 410 et ISO 52022-1 avec l'ajout d'un coefficient majorateur permettant de s'assurer que la valeur de facteur solaire obtenu est supérieure à la valeur précise pour être sécuritaire en terme de confort estival et dimensionnement des charges de refroidissement.

Note 2 : ces formules supposent que les réflexions énergétiques et lumineuses de la protection solaire sont identiques dans les deux sens (sens du rayonnement et sens opposé au rayonnement).

Note 3 : ces formules supposent que la réflexion énergétique et lumineuse des éléments opaques éventuellement présents dans les peaux est identique à celle des vitrages des peaux.

3.2.14.2.4.2 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

$$S_{fs} = \tau_{e,B}.\frac{\alpha_f.U_f}{25} + \frac{1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}}{10.\left(\frac{1}{U_f}+0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B}.\left(1-\frac{\alpha_f.U_f}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_f}+0.3\right)}$$

$$S_{ps} = \tau_{e,B}.\frac{\alpha_p.U_p}{25} + \frac{1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}}{10.\left(\frac{1}{U_p}+0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B}.\left(1-\frac{\alpha_p.U_p}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_p}+0.3\right)}$$

(Formule 123) ;

Où U_f et U_p sont les coefficients de transmission thermique des profilés et des remplissages opaques de la peau intérieure, calculés selon la norme NF EN ISO 10077-2.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$

Note : l'impact de la peau extérieure sur le facteur solaire des éléments opaques de la double peau est négligée face à l'impact de la protection solaire déployée.

3.2.14.2.4.2.1 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen Scwi et TLcwi de chaque facette.

$$S_{cws1,i} = \frac{\sum S_{gs1} A_{g,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$

(Formule 124) ;

$$S_{cws2,i} = \frac{\sum S_{gs2} A_{g,\text{int}} + \sum S_{fs} A_{f,\text{int}} + \sum S_{ps}\ A_{p,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$ (Formule 125) ;

$$S_{cws3,i} = 0$$

$$TL_{cws,i} = \frac{\sum TL_{gs} A_{g,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$ (Formule 126) ;

$$TL_{cws,dif,i} = \frac{\sum TL_{gs,dif} A_{g,\text{int}}}{\sum (A_{g,\text{int}} + A_{f,\text{int}} + A_{p,\text{int}})}$$ (Formule 127) ;

où

$A_{g,int}$ [(1)] est la plus petite aire visible du vitrage de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

$A_{f,int}$ [(1)] est la plus grande aire projetée de la menuiserie de la peau intérieure prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2.

$A_{p,int}$ [(1)] est la plus petite aire visible du panneau opaque de la peau intérieure, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

TL_{gs} est le facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

$TL_{gs,dif}$ est la composante diffusée du facteur de transmission lumineuse avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{gs2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire de chaque vitrage de la facette i, déterminée suivant le §.3.2.14.2.4.1.

S_{fs} est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.4.2.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.14.2.4.2.

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

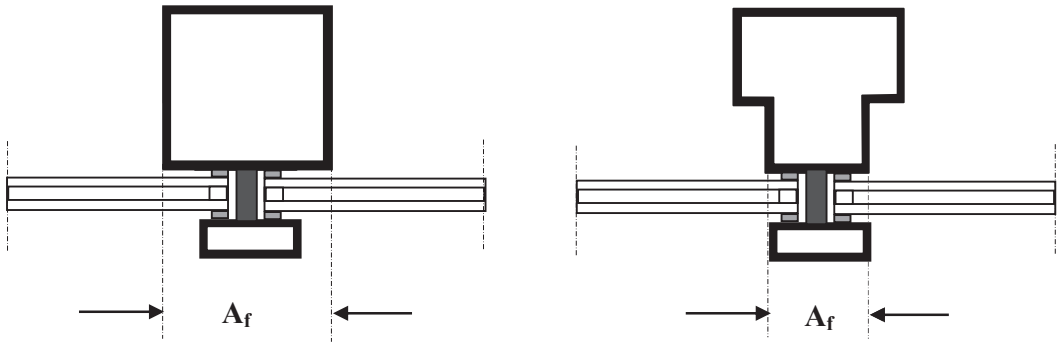


Figure 75 – Aires projetées visibles de la menuiserie

3.2.14.2.6 *Renseignement de la façade double peau dans Th-BCE*

La façade double peau se décrit sous la forme de plusieurs modules moyens différents d'orientation et d'inclinaison identiques, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la façade.
Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules moyens. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés aux paragraphes 3.2.14.2.3 et 3.2.14.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^{C}=S_{cw}^{E}=S_{cw}$).
L'inclinaison et l'orientation de chaque facette doivent être renseignées, ainsi que les masques proches ou lointains.

3.2.15 VERRIERES

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance énergétique des verrières sont :

- la nature du vitrage utilisé (simple, double, double avec faible émissivité, double avec faible émissivité et remplissage gaz inerte, triple, vitrage à contrôle solaire…) ;
- le type de profilé utilisé (avec ou sans rupture de pont thermique) ;
- la géométrie de la verrière (nombre de profilés, ratio clair moyen, inclinaison…) ;
- la présence ou non de protections solaires pour réduire les apports solaires estivaux et limiter ainsi le recours aux systèmes de refroidissement ;
- la nature des protections solaires employées en particulier leurs propriétés diffusantes pour obtenir une ambiance lumineuse intérieure de qualité et limiter ainsi le recours à l'éclairage artificiel.

3.2.15.1 ***Coefficients de transmission thermique moyen Ucw des verrières***

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les mêmes principes que la méthode utilisée pour le calcul des façades rideaux. La méthode de calcul détaillée correspondante est décrite dans la norme NF EN ISO 12631.

3.2.15.1.1 ***Méthode simplifiée pour verrière d'inclinaison inférieure à 30 °***

Si tous les modules d'une verrière ont une pente inférieure à 30°, la méthode simplifiée suivante qui considère les vitrages horizontaux avec flux ascendant peut s'appliquer. Elle permet de définir un coefficient de transmission thermique moyen $U_{cw,tot}$ de l'ensemble de la verrière.
Pour calculer le coefficient surfacique moyen de la verrière, on procède suivant la méthode décrite ci-après.

3.2.15.1.1.1 Division de la verrière en modules.

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

Nota : Si le module moyen recouvre plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, il doit toutefois être découpé en conséquence.

3.2.15.1.1.2 Détermination des coefficients surfaciques Ugh,i des vitrages de chaque module.

Le coefficient de transmission thermique surfacique utile $U_{gh,i}$ en partie centrale du vitrage i se calcule conformément à la norme NF EN 673.

3.2.15.1.1.3 Détermination des coefficients surfaciques et linéiques des autres éléments de chaque module.

En plus des vitrages, chaque module peut contenir à la fois différents types d'éléments : éléments de remplissage opaques, profilés de menuiserie, espaceurs de vitrages ou de panneaux opaques.
La méthode de calcul de ces éléments est donnée dans la norme NF EN ISO 10077-2. Pour le calcul des coefficients de transmission U_p des panneaux de remplissage opaques, les conditions aux limites à utiliser sont celles définies au document Méthodes fascicule Parois

opaques et correspondent à un flux thermique ascendant et une émissivité de la face intérieure proche de ε=0,9 (h_i = 10 W/(m².K)).

3.2.15.1.1.4 Détermination du coefficient surfacique moyen Ucw,i de chaque module.

$$U_{cw,i} = \frac{\sum U_g A_g + \sum U_f A_f + \sum U_p A_p + \sum \psi_g l_g + \sum \psi_p l_p}{\sum (A_g + A_f + A_p)}$$ (Formule 128) ;

où

A_g [1] est la plus petite aire visible du vitrage, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints ;

A_f [1] est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2 ;

A_p [1] est la plus petite aire visible du panneau opaque, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints ;

U_g est le coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale du vitrage, en W/(m^2.K)

U_f est le coefficient surfacique de la menuiserie en W/(m^2.K) ;

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque, en W/(m^2.K), ;

l_p est le plus grand périmètre visible du panneau, vu des deux côtés de la paroi en m ;

l_g est le plus grand périmètre visible du vitrage, vu des deux côtés de la paroi, en m ;

Ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en W/(m.K) ;

Ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'espaceur du panneau et du profilé, en W/(m.K).

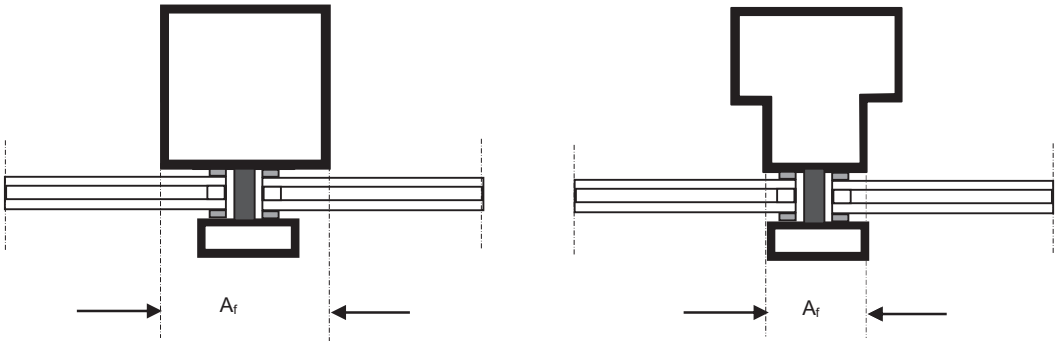


Figure 76 – Aires projetées visibles de la menuiserie

[1] Les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage (cf. Figure 76)

3.2.15.1.1.5 Détermination du coefficient surfacique moyen de la verrière

Le coefficient surfacique moyen de la verrière $U_{cw,tot}$, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}}$$ (Formule 129) ;

Où

$U_{cw,tot}$ est le coefficient surfacique moyen de la verrière, en W/(m^2.K) ;

$U_{cw,i}$ est le coefficient surfacique moyen du module i, en W/(m^2.K) ;

$A_{cw,i}$ est l'aire du module i, en m^2

3.2.15.1.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale et à l'horizontale doivent être considérés égaux entre eux et correspondent au $U_{cw,tot}$ calculé au paragraphe 0. L'inclinaison de la verrière doit être renseignée comme nulle.

3.2.15.1.2 ***Méthode détaillée***

Dans le cas où l'un des modules de la verrière a une inclinaison supérieure à 30°, les modules d'inclinaison supérieure à 30° doivent être renseignés séparément pour chaque inclinaison et orientation :

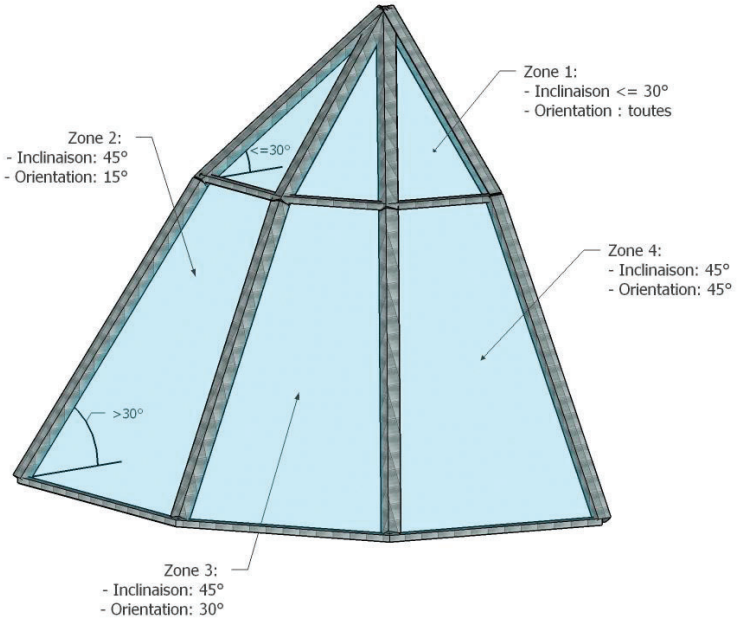


Figure 77 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

3.2.15.1.2.1 Division de la verrière en modules.

Les principes décrit au §.3.2.15.1.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.0. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

Nota : Si les modules ainsi définis recouvrent plusieurs groupes thermiques différents au sens de la méthode Th-BCE, ils doivent toutefois être redécoupés en conséquence.

3.2.15.1.2.2 Détermination des coefficients surfaciques Ugv,i et Ugh,i des vitrages de chaque module.

Deux valeurs de coefficient de transmission thermique des vitrages sont à considérer : une valeur pour un vitrage vertical $U_{gv,i}$ et une valeur pour un vitrage horizontal avec flux ascendant $U_{gh,i}$.

Les coefficients de transmission thermique surfaciques utiles $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$ en partie centrale du vitrage i se calcule conformément à la norme NF EN 673.

3.2.15.1.2.3 Détermination des coefficients surfaciques et linéiques des autres éléments de chaque module.

Les autres éléments des modules se calculent conformément au §.3.2.15.1.1.3.

3.2.15.1.2.4 Détermination des coefficients surfaciques moyens Ucw,v,i et Ucw,h,i de chaque module.

Le calcul des coefficients surfaciques moyens à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ de chaque module se fait conformément au §.3.2.15.1.1.4 en considérant des valeurs de coefficient de transmission thermique de vitrage respectivement égales à $U_{gv,i}$ et $U_{gh,i}$, telles que calculées au §.3.2.15.1.1.2.

3.2.15.1.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La verrière se décrit dans ce cas sous la forme de plusieurs modules différents, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la verrière.

Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les coefficients de transmission thermique à la verticale $U_{cw,v,i}$ et à l'horizontale $U_{cw,h,i}$ sont ceux calculés au paragraphe 3.2.15.1.1.6. L'inclinaison et l'orientation de chaque module doivent être renseignées ; pour le module moyen regroupant les modules de pentes inférieures à 30°, une inclinaison nulle doit être appliquée.

3.2.15.2 ***Facteurs moyens de transmission solaire Scw et lumineuse et TLcw des verrières***

- Cas des protections extérieures sans lames inclinées :

La méthode de calcul indiquée dans ce paragraphe reprend les principes décrits dans la norme XP P50-777. Une méthode simplifiée est proposée pour calculer le facteur de transmission solaire et lumineuse des vitrages. Dans le cas où l'un des vitrages de la verrière est muni de protections solaires, il est nécessaire de calculer également les facteurs S_{cws} et TL_{cws} correspondant à la verrière avec protections solaires pleinement déployées.
Cette méthode se limite à la prise en compte de protections solaires extérieures, sans lames inclinées et ne traite pas des brise-soleil. Les protections solaires doivent de plus avoir des caractéristiques de transmission et de réflexion énergétiques comprises dans la gamme suivante : $\tau_{e,B} < 0.5$ et $0.1<\rho_{e,B}<0.8$.

Note : de manière générale, toutes les hypothèses simplificatrices retenues dans cette méthode conduisent à surestimer les facteurs de transmission solaire et lumineux, ce qui est sécuritaire en terme de confort d'été. Pour les valeurs des facteurs solaires sans protection, il est considéré que les valeurs calculées sont valables aussi bien en condition de consommation qu'en condition de confort d'été ($S_{cw}^{C}=S_{cw}^{E}=S_{cw}$).

Un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est également possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777.

.

- Cas des protections extérieures avec lames inclinées :

Pour des protections solaires non couvertes par la méthode ci-dessous, un calcul détaillé des facteurs de transmission solaire et lumineuse des vitrages avec et sans protection solaire est possible. Les facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module et leurs composantes ne sont alors pas calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 du présent document mais conformément aux normes NF EN ISO 52022-3 et XP P50-777, en particulier son Annexe A concernant les stores à lames.

3.2.15.2.1 *Méthode simplifiée pour verrière d'inclinaison inférieure à 30°*

Si tous les modules d'une verrière ont une pente inférieure à 30°, la méthode simplifiée suivante qui considère les vitrages horizontaux peut s'appliquer. Elle évite le découpage de la verrière selon leurs orientations et permet ainsi de définir des facteurs de transmission de l'énergie solaire et lumineuse moyens $S_{cw,tot}$ et $TL_{cw,tot}$ (et leurs composantes) pour l'ensemble de la verrière.
Pour calculer les composantes des facteurs de transmission moyens de la verrière, on suivant la méthode décrite ci-après.

3.2.15.2.1.1 Division de la verrière en modules.

Les frontières des modules doivent être choisies de façon à obtenir des modules répétitifs juxtaposés simples à calculer. Le plus souvent, ces frontières sont confondues avec les axes de symétrie des profilés (montants ou traverses) de l'ossature de la verrière. La norme NF EN ISO 12631 donne davantage de précision sur le choix de ces frontières.

3.2.15.2.1.2 Détermination des facteurs de transmission solaire et lumineuse Sg,i, Sgs,i, TLg,i, TLgs,i des vitrages de chaque module, et de leurs composantes.

Si le vitrage n'est pas muni de protection solaire :

$$\left.\begin{array}{c} S_{g1,i} = \tau_e \\ S_{g2,i} = g - \tau_e \\ S_{g3,i} = 0 \end{array}\right\} S_{g,i} = S_{g1,i} + S_{g2,i} + S_{g3,i} \qquad \text{(Formule 130) ;}$$

$$\begin{array}{c} TL_{g,i} = \tau_v \\ TL_{g,i,dif} = 0 \end{array} \qquad \text{(Formule 131) ;}$$

Si le vitrage est muni d'une protection solaire extérieure, les facteurs avec protection solaire extérieure déployée se calculent à l'aide des formules suivantes :

$$\left.\begin{array}{c} S_{gs1,i,} = \frac{\tau_e.\tau_{e,B}}{1-\rho_e.\rho'_{e,B}} \\ S_{gs2,i} = 0.02 + \tau_{e,B}.g + \frac{1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}}{10.\left(\frac{1}{U_{gh,i}}+0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B}.(1-g)}{5.\left(\frac{1}{U_{gh,i}}+0.3\right)} - \frac{\tau_e.\tau_{e,B}}{1-\rho_e.\rho'_{e,B}} \\ S_{gs3,i} = 0 \end{array}\right\} S_{gs,i} = S_{gs1,i} + S_{gs2,i} + S_{gs3,i}$$

(Formule 132) ;

$$\begin{array}{c} TL_{gsi} = \frac{\tau_v.\tau_{v,B}}{1-\rho_v.\rho'_{v,B}} \\ TL_{gsi,dif} = \frac{\tau_v.\tau_{v,B,dif}}{1-\rho_v.\rho'_{v,B}} \end{array} \qquad \text{(Formule 133) ;}$$

Où τ_e, τ_v, ρ_e, ρ_v et g sont les caractéristiques globales du vitrage nu, déterminées selon la norme NF EN 410. $\tau_{e,B}$, $\tau_{v,B}$ et $\tau_{v,B,dif}$ sont les caractéristiques de la protection solaire diffusante, déterminées selon la norme NF EN 14500.

$U_{gh,i}$ étant le coefficient de transmission surfacique utile du vitrage i, déterminé à l'horizontale conformément aux §.3.2.15.1.1.2.

Note 1 : ces formules sont basées sur la norme simplifiée NF EN ISO 52022-1 avec l'ajout d'un coefficient majorateur permettant de s'assurer que la valeur de facteur solaire obtenu est supérieure à la valeur précise pour être sécuritaire en terme de confort estival et dimensionnement des charges de refroidissement.

Note 2 : ces formules sont valables sous l'hypothèse que l'impact de l'inclinaison du vitrage sur le facteur solaire est de second ordre. Sous cette hypothèse et par volonté de cohérence, les U_{gi} des formules sont les mêmes que ceux calculés avec flux ascendant, bien qu'en situation estivale le flux soit descendant.

3.2.15.2.1.3 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

En l'absence de protection solaire extérieure ou si cette protection solaire n'est pas munie de coulisses et recouvre moins de 80 % de la surface du cadre ou du panneau de remplissage opaque :

$$S_{f,i} = \frac{\alpha_{f,i}.U_{f,i}}{25}$$
$$S_{p,i} = \frac{\alpha_{p,i}.U_{p,i}}{25}$$

(Formule 134) ;

En présence de protection solaire extérieure ou si cette protection solaire est munie de coulisses ou recouvre plus de 80 % de la surface du cadre ou du panneau de remplissage opaque :

$$S_{fs,i} = \tau_{e,B}.\frac{\alpha_{fi,}.U_{f,i}}{25} + \frac{1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}}{10.\left(\frac{1}{U_{f,i}}+0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B}.\left(1-\frac{\alpha_{f,i}.U_{f,i}}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_{f,i}}+0.3\right)}$$
$$S_{psi,} = \tau_{e,B}.\frac{\alpha_{p,i}.U_{p,i}}{25} + \frac{1-\tau_{e,B}-\rho_{e,B}}{10.\left(\frac{1}{U_{p,i}}+0.3\right)} + \frac{\tau_{e,B}.\left(1-\frac{\alpha_{p,i}.U_{p,i}}{25}\right)}{5.\left(\frac{1}{U_{p,i}}+0.3\right)}$$

(Formule 135) ;

Où $U_{f,i}$ et $U_{p,i}$ sont calculés conformément au §.0.

Les coefficients d'absorption énergétiques du cadre et des parties opaques peuvent être mesurés à l'aide de la norme NF EN 410 ; à défaut de mesure, les valeurs suivantes, issues de l'Annexe D de la norme XP P50-777, peuvent être utilisées :

- pour les couleurs claires (blanc, jaune, orange, rouge clair) : $\alpha_{f,p} = 0,4$
- pour les couleurs moyenne (rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair) : $\alpha_{f,p} = 0,6$
- pour les couleurs sombre (brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen) : $\alpha_{f,p} = 0,8$
- pour les couleurs foncées (noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre), $\alpha_{f,p} = 1,0$.

3.2.15.2.1.4 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen Scw,i et TLcw,i de chaque module.

$$S_{cw1,i}=\frac{\sum S_{g1}A_g}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 136) ;

$$S_{cw2,i}=\frac{\sum S_{g2}A_g+\sum S_f A_f+\sum S_p A_p}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 137) ;

$$S_{cws1,i}=\frac{\sum S_{gs1}A_g}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 138) ;

$$S_{cws2,i}=\frac{\sum S_{gs2}A_g+\sum S_{fs}A_f+\sum S_{ps}A_p}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 139) ;

$$S_{cw3,i}=S_{cws3,i}=0$$ (Formule 140) ;

$$TL_{cw,i}=\frac{\sum TL_g A_g}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 141) ;

$$TL_{cw,dif,i}=\frac{\sum TL_{g,dif}A_g}{\sum(A_g+A_f+A_p)}$$ (Formule 142) ;

où

A_g (1) est la plus petite aire visible du vitrage, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

A_f (1) est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrement, vue des deux côtés de la paroi, en m^2.

A_p (1) est la plus petite aire visible du panneau opaque, vue des deux côtés de la paroi en m^2. On ne tient pas compte des débordements des joints.

S_{g1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{gs1} est la composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{g2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_{gs2} est la composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire avec protection solaire, déterminée suivant le §.3.2.15.2.1.2.

S_f est le facteur solaire du cadre sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_{fs} est le facteur solaire du cadre avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_p est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque sans protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

S_{ps} est le facteur solaire de l'élément de remplissage opaque avec protection solaire, déterminé suivant le §.3.2.15.2.1.3.

(1) les aires projetées « visibles » de la menuiserie et de l'élément de remplissage sont à prendre en compte par rapport aux parties du profilé au voisinage immédiat de l'élément de remplissage :

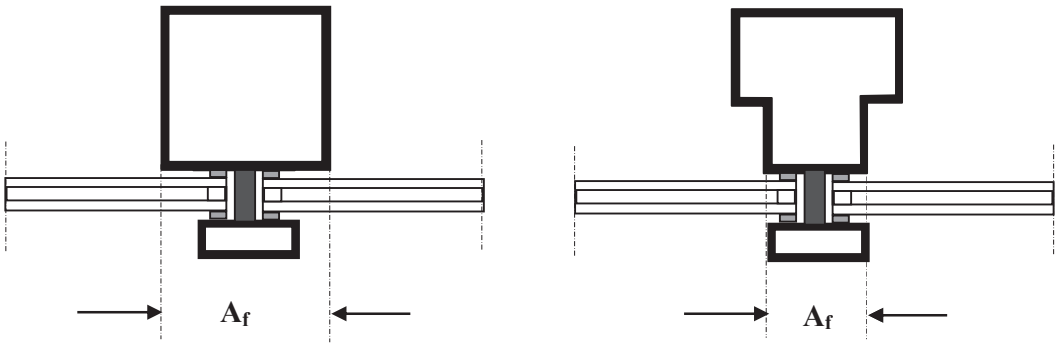


Figure 78 – Aires projetées visibles de la menuiserie

3.2.15.2.1.5 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyens de la verrière

Les composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyens de la verrière se calculent d'après les formules suivantes :

$$S_{cw1,\,tot} = \frac{\sum (S_{cw1i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}}$$ (Formule 143) ;

$$S_{cw2,\,tot} = \frac{\sum (S_{cw2i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}}$$ (Formule 144) ;

$$TL_{cw,\,tot} = \frac{\sum (TL_{cwi} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}}$$ (Formule 145) ;

$$TL_{cw,dif,\,tot} = \frac{\sum (TL_{cw,dif,i} \cdot A_{cwi})}{\sum A_{cwi}}$$ (Formule 146) ;

Où

$X_{cw,tot}$ sont les facteurs moyens de la verrière

X_{cwi} sont les facteurs moyens du module i, déterminés au §.3.2.15.2.1.4.

A_{cwi} est l'aire du module i, en m^2.

3.2.15.2.1.6 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La surface à renseigner dans la méthode Th-BCE correspond à la somme des surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse déterminées précédemment au paragraphe 3.2.15.2.1.5 doivent être renseignées. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} (S_{cw}^{C}=S_{cw}^{E}=S_{cw}).
L'inclinaison de la verrière doit être renseignée comme nulle.

3.2.15.2.2 ***Méthode détaillée***

Dans le cas où l'un des modules de la verrière a une inclinaison supérieure à 30°, les modules d'inclinaison supérieure à 30° doivent être renseignés séparément pour chaque inclinaison et orientation :

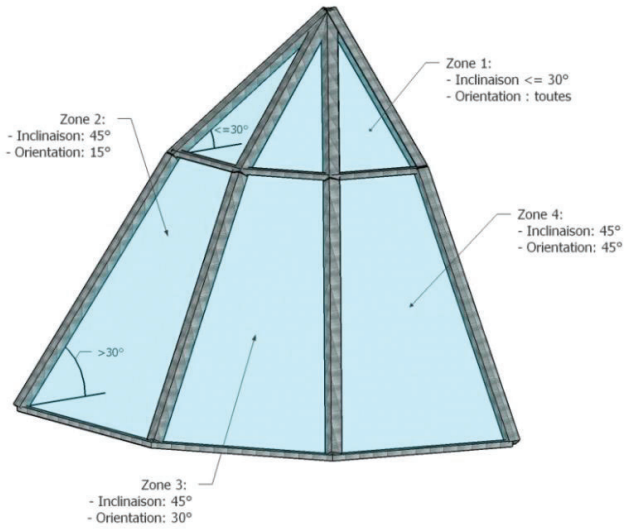


Figure 79 – Découpage de la verrière en zone selon l'inclinaison et l'orientation des modules

3.2.15.2.2.1 Division de la verrière en modules.

Les principes décrit au §.3.2.15.2.1.1 s'appliquent. Les modules d'inclinaisons inférieures à 30° peuvent être regroupés dans un module moyen calculé conformément au §.3.2.15.2.1.5. Les autres modules doivent être regroupés notamment en fonction de leur inclinaison et de leur orientation.

3.2.15.2.2.2 Détermination des facteurs de transmission solaire et lumineuse $S_{g,i}$, $S_{gs,i}$, $TL_{g,i}$, $TL_{gs,i}$ des vitrages de chaque module, et de leurs composantes.

L'inclinaison n'a pas d'impact significatif sur le facteur solaire déterminé à incidence normale. Les valeurs de chaque module sont donc calculées selon le §.3.2.15.2.1.2 quelles que soient leurs inclinaisons.

Note : en toute rigueur un correctif pour prendre en compte les incidences rasantes devrait être appliqué pour les fortes inclinaisons (>65%). Du fait des simplifications déjà utilisées, de la rareté de ces inclinaisons en verrière, du faible impact de cette correction et par soucis de simplification, ce correctif n'est pas retenu.

3.2.15.2.2.3 Détermination des facteurs de transmission solaire des autres éléments opaques de chaque module.

Les autres éléments opaques des modules se calculent conformément au §.3.2.15.2.1.3.

3.2.15.2.2.4 Détermination des composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse moyen $S_{cw,i}$ et $TL_{cw,i}$ de chaque module.

Le calcul de chaque module se fait à l'aide des formules du §.3.2.15.2.1.4.

3.2.15.2.2.5 Renseignement de la verrière dans Th-BCE

La verrière se décrit dans ce cas sous la forme de plusieurs modules différents, il n'est pas possible de définir de coefficient moyen global de la verrière.
Les surfaces à renseigner dans la méthode Th-BCE correspondent aux surfaces des différents modules. Les différentes composantes des facteurs de transmission solaire et lumineuse sont ceux calculés au paragraphe 3.2.15.2.2.4. Les valeurs sans protection solaire en condition de consommation peuvent être prise égales à celles en condition de confort d'été et égales aux composantes S_{cw} ($S_{cw}^{C}=S_{cw}^{E}=S_{cw}$).
L'inclinaison et l'orientation de chaque module doivent être renseignées ; pour le module moyen regroupant les modules de pentes inférieures à 30°, une inclinaison nulle doit être appliquée.

3.2.16 VERANDAS

Les coefficients de transmission thermiques $U_{ue,i}$, les facteurs de transmission solaires et les facteurs de transmission lumineuse doivent être calculés pour chaque élément de la véranda possédant une orientation ou une inclinaison différente :

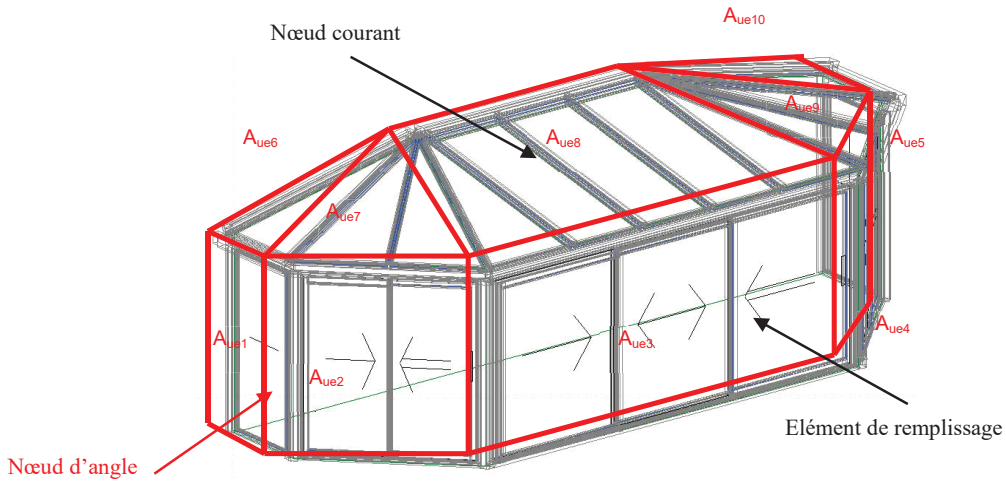


Figure 80 – Schéma d'une véranda

Le principe général du calcul consiste à séparer chaque surface considérée en éléments de remplissage et en nœuds d'ossature. Les éléments de remplissage peuvent être des fenêtres complètes (avec leurs menuiseries), ou des vitrages seuls, des panneaux opaques ou des panneaux en polycarbonate (notamment en couverture).

On distinguera de plus les nœuds « courants » liant deux éléments de remplissage d'orientation et d'inclinaison identiques des nœuds « d'angles » liant deux éléments de remplissage d'orientation et d'inclinaison différente.

Le principe consiste à calculer les ponts thermiques intégrés propres aux profilés de l'ossature puis à déterminer les valeurs de coefficients de transmission thermique surfacique des éléments de remplissage d'une part ainsi que les ponts thermiques correspondant à l'interaction entre les éléments de remplissage et les profilés de l'ossature.

3.2.16.1 *Coefficient de transmission thermique U_v de la véranda*

Le coefficient de transmission thermique U_v de la véranda se calcule comme suit :

$$U_V = \frac{\sum_i \left(U_{ue,i} \times A_{ue,i}\right)}{\sum_i A_{ue,i}} \qquad \text{(Formule 147) ;}$$

où

$U_{ue,i}$: coefficient de transmission thermique de la paroi i pour chaque orientation et inclinaison (cf. §. 3.2.16) ;

$A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m².

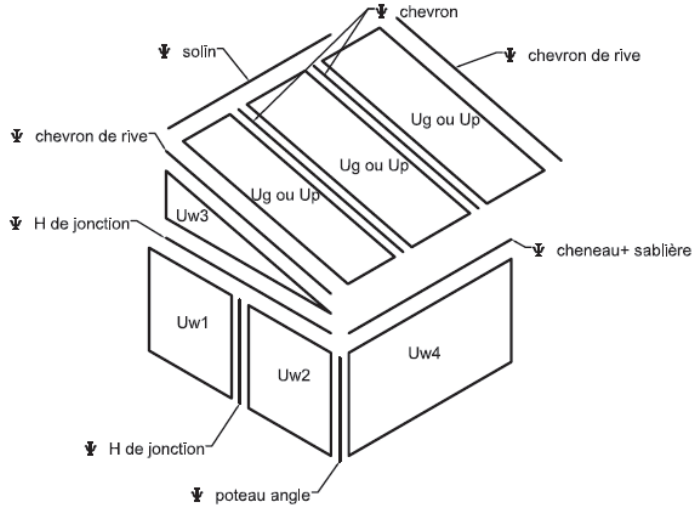


Figure 81 – Découpage de la véranda

Nota : la méthode globale de la norme NF EN ISO 12631, consistant à considérer chaque nœud comme un pont thermique Ψ équivalent, peut également s'appliquer en considérant les conventions géométriques et les conditions aux limites, pour les nœuds d'angle, décrites ci-dessous.

3.2.16.1.1 *Coefficients de transmission thermique $U_{ue,i}$*

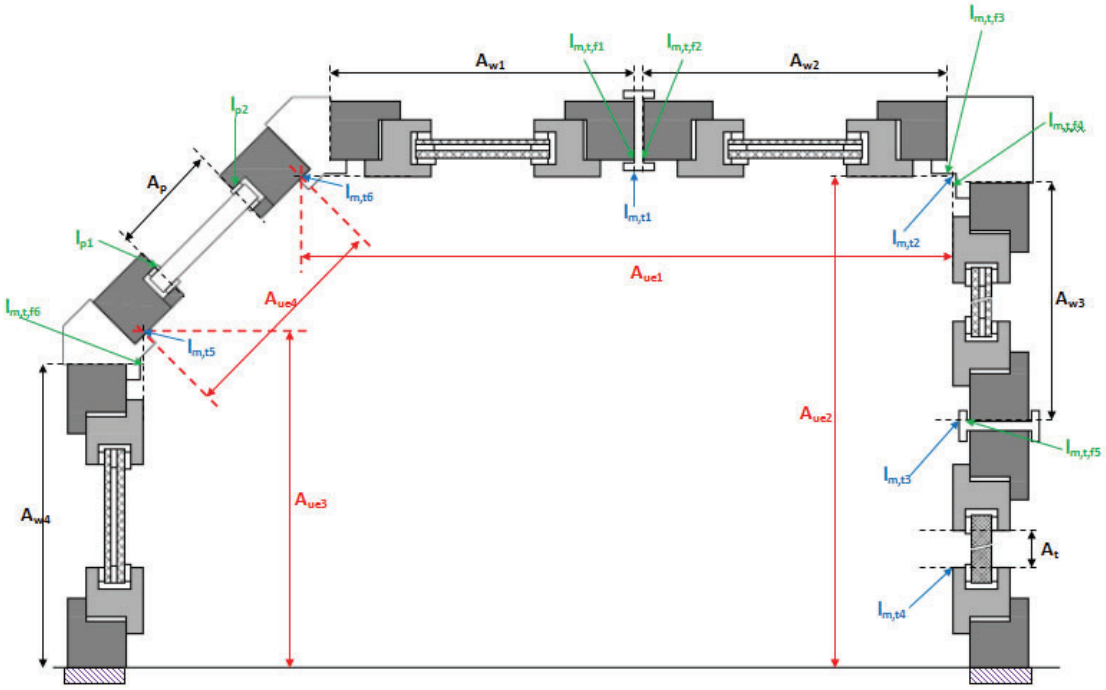


Figure 82 – Découpage de la véranda en coupes

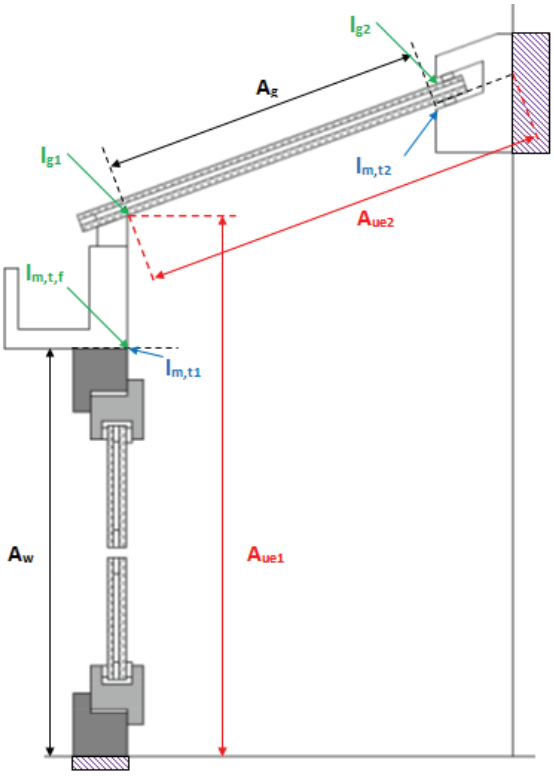


Figure 83 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

Pour chaque orientation et inclinaison, le coefficient de transmission thermique $U_{ue,i}$ de la paroi s'obtient par la formule suivante :

$$U_{ue,i} = \frac{\sum A_w \cdot U_w + \sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_t \cdot U_t + \sum l_{m,t} \cdot \Psi^*_{m,t} + \sum l_g \cdot \Psi_g + \sum l_p \cdot \Psi_p + \sum l_{m,t,f} \cdot \Psi_{m,t,f}}{A_{ue,i}}$$

(Formule 148) ;

où :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m².
- U_w : coefficient de transmission thermique surfacique utile de la fenêtre intégrée à la véranda, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.1.1 ;
- A_g: la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m², sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- U_g : coefficient de transmission thermique surfacique utile en partie centrale des vitrages, en W/(m².K), à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, ;
- A_p: la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m² ;
- U_p : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux opaques, en W/(m².K), déterminé avec le document Méthodes - fascicule Parois opaques, en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau ;
- A_t: la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m² ;
- U_t : coefficient de transmission thermique surfacique utile des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.3.3 ;
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans intérieurs pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en W/(m.K). Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.1 ;
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m² ;
- l_p : linéique de la jonction entre profilé et panneau de remplissage opaque, en m ;
- Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / panneau de remplissage opaque, en W/(m.K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.2 ;
- l_g : linéique de la jonction profilé / vitrage, en m, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda ;
- Ψ_g : coefficient de transmission thermique linéique de la jonction profilé / vitrage, en W/(m.K), à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminé par le paragraphe 3.2.16.1.2 ;
- $l_{m,t,f}$: linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en m ;
- $\Psi_{m,t,f}$: coefficient de transmission thermique linéique de la jonction entre profilé des fenêtre et profilé de structure, en W/(m.K), déterminé à partir du §. 3.2.16.1.3.

Nota 1 : un coefficient de transmission thermique linéique spécifique dû à la jonction entre panneau polycarbonate et montant devrait être défini (par analogie aux Ψ_g et Ψ_p pour les remplissages opaques ou vitrés). Toutefois en l'absence d'intercalaire sur ces éléments PCA, son impact est négligé.

3.2.16.1.2 *Coefficient de transmission thermique linéique Ψ_g et Ψ_p des jonctions profilé/vitrage et profilé/panneau*

Les coefficients Ψ_g et Ψ_p se calculent en suivant le même principe que celui défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 en remplaçant les coefficients U_f des profilés d'ossature par un coefficient linéique $\Psi_{m,t}$:
Dans le cas où un seul élément de remplissage est présent :

$$\psi_g = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_g \cdot U_g - \psi_{m,t} \quad \text{(Formule 149) ;}$$

$$\psi_p = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_p \cdot U_p - \psi_{m,t} \quad \text{(Formule 150) ;}$$

Dans le cas où deux éléments de remplissage sont présents de part et d'autre du profilé :

$$\psi_g = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{g1} \cdot U_{g1} - l_{g2} \cdot U_{g2} - \psi_{m,t}}{2} \quad \text{(Formule 151) ;}$$

$$\psi_p = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - \psi_{m,t}}{2} \quad \text{(Formule 152) ;}$$

Où :

- φ : densité de flux thermique traversant le modèle numérique représentant le vitrage (ou le panneau) et son intercalaire, en W/m ;
- ΔT : différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_g, l_p : largeur du vitrage (ou du panneau) dans le modèle numérique ;
- U_g, U_p : coefficient de transmission thermique du vitrage (ou du panneau), déterminé à partir selon la norme NF EN 673. (ou du document Méthodes - fascicule Parois opaques des règles Th-Bât dans le cas d'un panneau) ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, en W/(m.K), déterminé à partir du paragraphe 3.2.16.1.2.1.

Nota : le coefficient Ψ_g ne doit être calculé que pour un vitrage non intégré à une fenêtre, quand un composant fenêtre est intégré à la véranda, le coefficient Ψ_g de cette fenêtre est déjà pris en compte dans le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre.

3.2.16.1.2.1 Coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t}$ des profilés d'ossature

Le coefficient $\Psi_{m,t}$ correspond aux transmissions thermiques dus au profilé d'ossature il est calculé indépendamment des profilés des fenêtres intégrées dans la véranda.

3.2.16.1.2.2 Conditions aux limites

Les conditions aux limites réduites sont applicables suivant la norme NF EN ISO 10077-2. Quel que soit le sens du flux, une condition réduite n'excédera pas 30 mm de part et d'autre d'un angle, en cas d'ambigüité la surface conduisant à la condition réduite la moins étendue sera considérée :

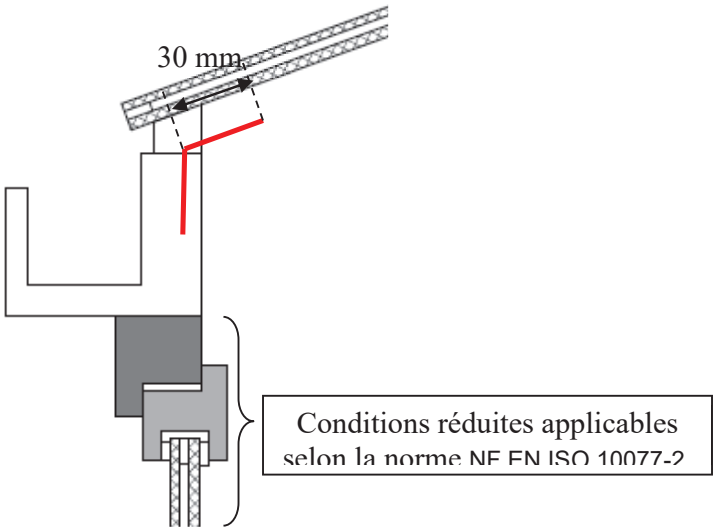


Figure 84 – Conditions aux limites

3.2.16.1.2.3 Pont thermique des profilés d'ossature $\Psi_{m,t}$

Le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres sont remplacés par une zone adiabatique et les éléments de remplissage autres que les vitrages propres des fenêtres sont remplacés par un panneau de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Pour un profilé d'ossature liant deux fenêtres (en angle ou en partie plane), le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres adjacentes sont remplacés par des zones adiabatiques définies par les zones de contact les plus grandes possibles entre profilés d'ossature et profilés de fenêtre :

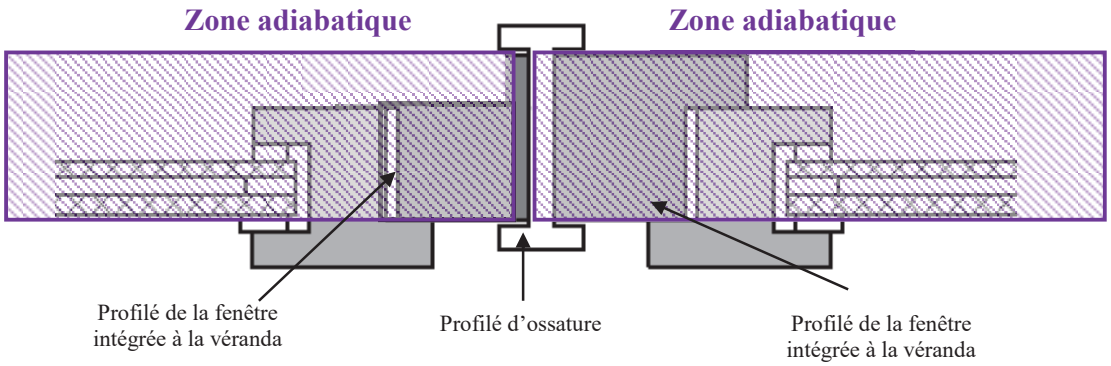


Figure 85 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (partie plane)

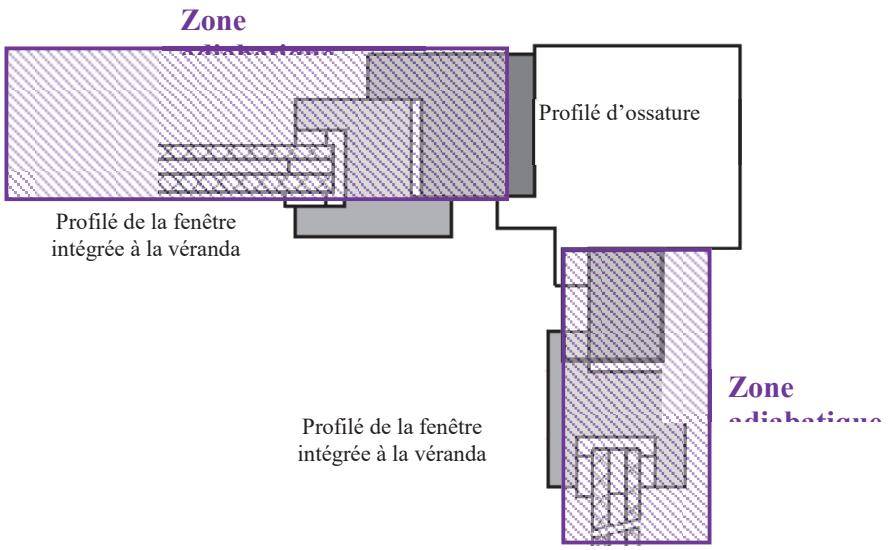


Figure 86 – Coupe d'un profilé d'ossature liant deux fenêtres (en angle)

$$\psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T}$$ (Formule 153) ;

Où :

- φ : Densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K.

Pour des profilés d'ossature liant une fenêtre à un autre remplissage (PCA ou panneau opaque) ou liant deux remplissages (PAC ou panneau opaque), le coefficient $\Psi_{m,t}$ s'obtient à l'aide d'un modèle numérique dans lequel les profilés des fenêtres sont remplacés par une zone adiabatique et les autres éléments de remplissage sont remplacés par un panneau de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Les zones adiabatiques sont définies par les zones de contact les plus grands possibles entre profilés d'ossature et profilés de fenêtre :

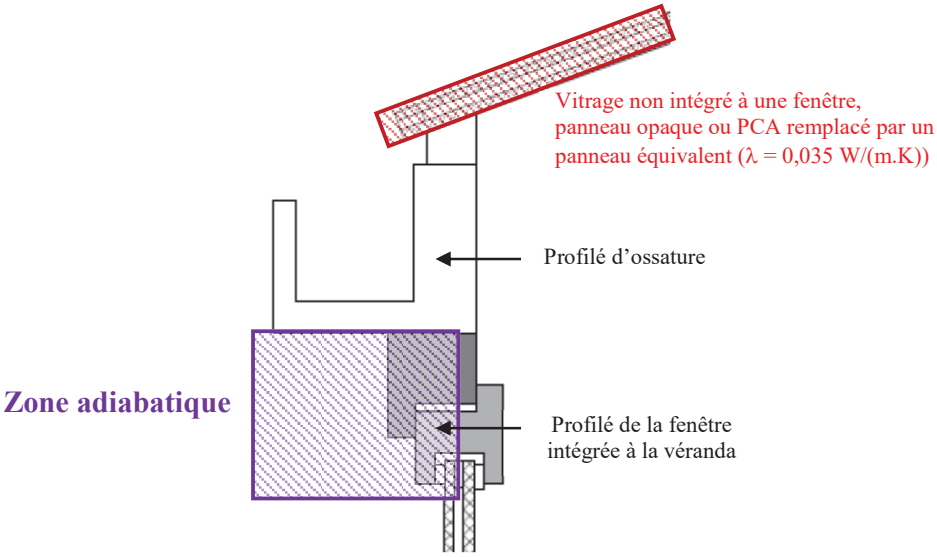


Figure 87 – Coupe d'un profilé d'ossature liant une fenêtre à un autre remplissage (PCA ou panneau opaque)

$$\psi_{m,t} = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1}$$ (Formule 154) ;

Où :

- φ : Densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_{p1} : largeur du panneau équivalent 1 dans le modèle numérique (considérer $l_{p1} \geq 0,19$ m) ;
- U_{p1} : Coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 1, déterminé à partir du document Méthodes - fascicule Parois opaques des règles Th-Bât.

3.2.16.1.3 *Coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t,f}$ des jonctions entre profilés d'ossature et profilé d'encadrement des fenêtres*

3.2.16.1.3.1 Méthode de calcul

Le coefficient $\Psi_{m,t,f}$ se calcule à partir d'un modèle complet intégrant le profilé d'ossature, le (ou les) profilé(s) de fenêtre et dans lequel tous les éléments de remplissage sont remplacés par un panneau équivalent de conductivité thermique égale à 0,035 W/(m.K).

Dans le cas d'une sablière ou d'un profilé d'ossature en contact avec un mur :

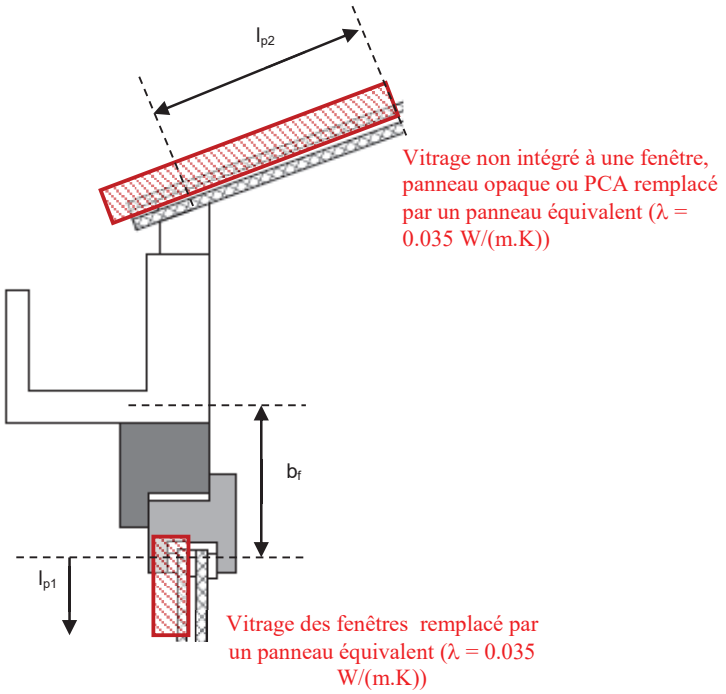


Figure 88 – Coupe d'une sablière ou d'un profilé d'ossature en contact avec un mur

$$\psi_{m,t,f} = \frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_f \cdot U_f - \psi_{m,t} \qquad \text{(Formule 155) ;}$$

Dans le cas où le profilé d'ossature est en contact avec deux fenêtres adjacentes :

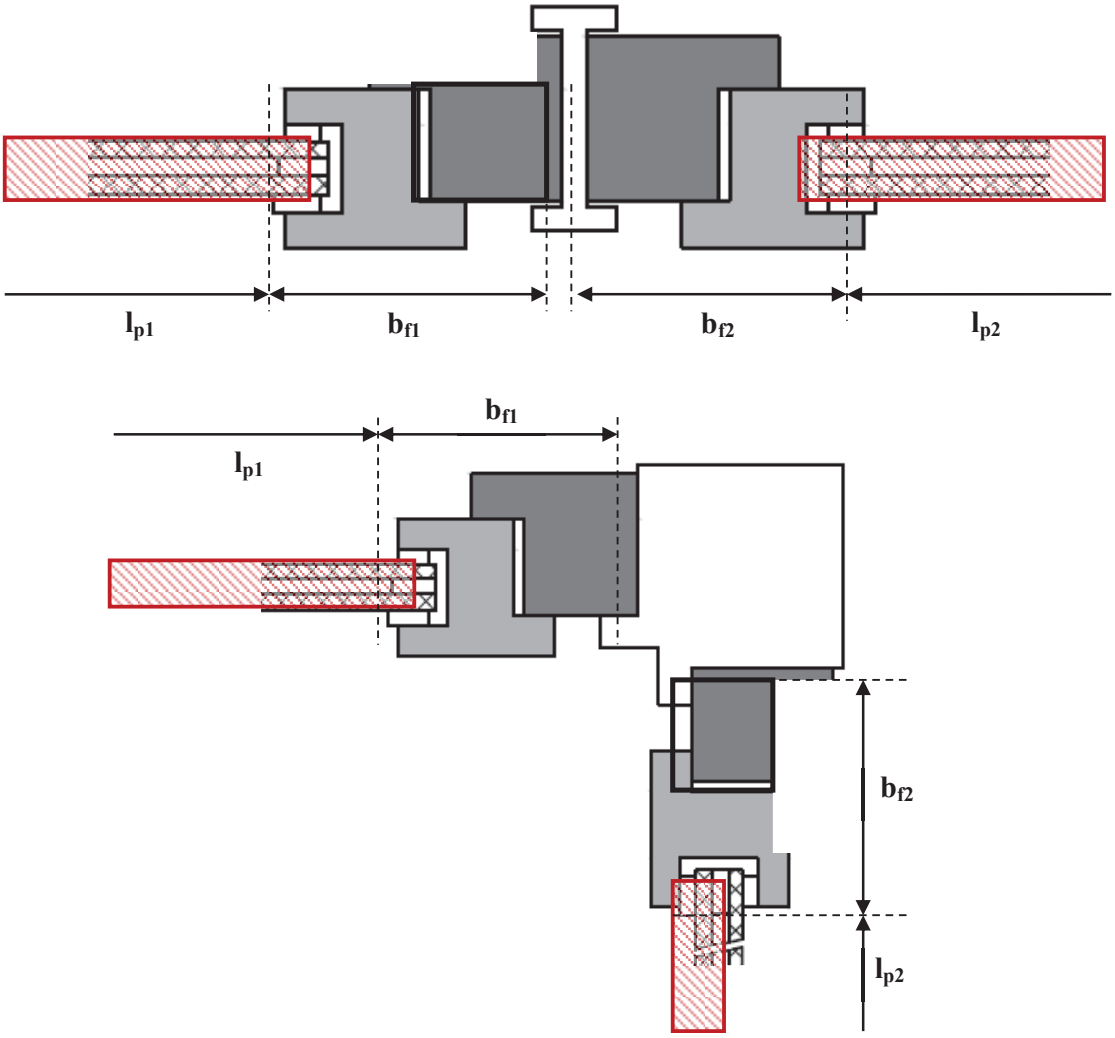


Figure 89 – Coupe d'un profilé d'ossature est en contact avec deux fenêtres adjacentes

$$\psi_{m,t,f} = \frac{\frac{\varphi}{\Delta T} - l_{p1} \cdot U_{p1} - l_{p2} \cdot U_{p2} - b_{f1} \cdot U_{f1} - b_{f2} \cdot U_{f2} - \psi_{m,t}}{2}$$ (Formule 156) ;

Où :

- φ : densité de flux thermique traversant le modèle numérique, en W/m ;
- ΔT : différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;
- l_{p1} : largeur du panneau équivalent 1 dans le modèle numérique (considérer $l_{p1} \geq 0{,}19$ m) ;
- U_{p1} : coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 1, déterminé à partir du document Méthodes – Parois opaques des règles Th-Bât ;

- l_{p2} : largeur du panneau équivalent 2 dans le modèle numérique (considérer $l_{p2} \geq 0,19$ m) ;
- U_{p2} : coefficient de transmission thermique du panneau équivalent 2, déterminé à partir du document Méthodes - Parois opaques des règles Th-Bât ;
- b_{f1} : largeur du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{f1} : coefficient de transmission thermique du profilé 1, défini dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- b_{f2} : largeur du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- U_{f2} : coefficient de transmission thermique du profilé 2, défini au paragraphe dans la norme NF EN ISO 10077-2 ;
- $\Psi_{m,t}$: coefficient de transmission thermique linéique du profilé d'ossature, déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.3.

3.2.16.1.3.2 Valeurs par défaut

A défaut de calcul selon le paragraphe § 3.2.16.1.3.1, les valeurs par défauts suivantes peuvent être utilisées pour le coefficient de transmission thermique linéique $\Psi_{m,t,f}$ des jonctions entre profilés d'ossature et profilés d'encadrement des fenêtres.

Tableau 22 - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ pour tout type d'ossature :

Profilés	$\Psi_{m,t,f}$ en W/(m.K)
Ossature avec RPT fenêtre sans RPT	0,30
Ossature sans RPT fenêtre avec RPT	0,30
Ossature avec RPT fenêtre avec RPT non alignée *	0,30
Ossature sans RPT fenêtre sans RPT	0,05
** RPT de la partie fixe de la fenêtre non alignée avec la RPT de l'ossature*	

Tableau 23 - Coefficient $\Psi_{m,t,f}$ dans le cas où la RPT de la partie fixe de la fenêtre est alignée avec la RPT du profilé d'ossature :

Profilé d'ossature	Profilés de fenêtre	$\Psi_{m,t,f}$ en W/(m.K)
Sablière	Frappe	0,10
	Coulissant deux vantaux	0,15
	Coulissant trois vantaux	0,30
Montant	Coulissant intérieur trois vantaux + frappe	0,30
	Coulissant intérieur deux vantaux + frappe	0,15
	Autres	0,05
Montant angle < 120°	Deux coulissants intérieurs deux vantaux	0,05
	Deux coulissants extérieurs deux vantaux ou deux frappes ou frappe-coulissant deux vantaux	0,15
	Deux coulissants extérieurs trois vantaux ou frappe-coulissant trois vantaux	0,30

3.2.16.1.3.3 Coefficient de transmission thermique des éléments de remplissage en polycarbonate U_t

Le coefficient de transmission thermique du panneau translucide polycarbonate U_t se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_t = \frac{\varphi}{\Delta T \cdot b_t}$$ (Formule 157) ;

Avec :

φ : Flux thermique linéique traversant un modèle numérique de la plaque polycarbonate, en W/m ;

ΔT : Différence de température entre les ambiances chaudes et froides, en K ;

b_t : Largeur du modèle numérique, en m. Dans le cas où le panneau en polycarbonate comporte des emboitements sans profilés apparents, le modèle numérique doit être centré sur l'emboitement et sa largeur doit correspondre à la largeur des panneaux. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents, ces profilés sont calculés sous forme de $\Psi_{m,t}$ (cf. paragraphe 3.2.16.1.2.3).

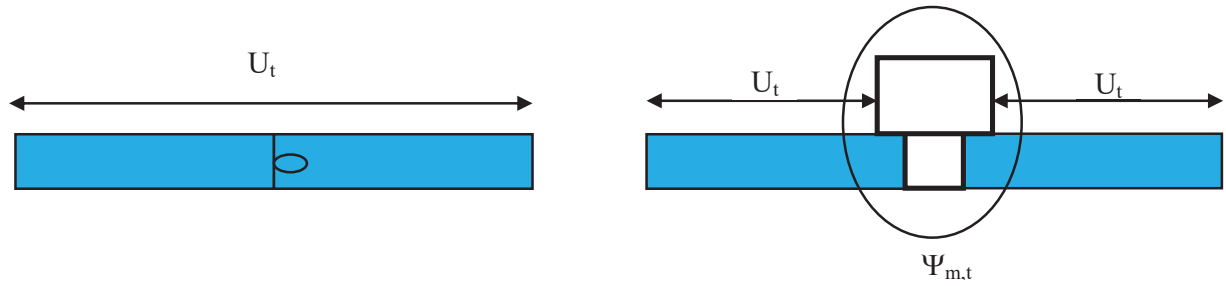


Figure 90 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

3.2.16.1.4 *Ponts thermiques de liaison véranda chauffée / structure :*

Se reporter aux Ψ des jonctions fenêtres/ouvrage indiqués au du document Méthodes – Ponts thermiques des règles Th-Bât.
Pour les jonctions solins/mur et jonctions verticales/mur, à défaut de valeurs calculées, les valeurs de pont thermique de liaison Ψ du document Méthodes - Ponts thermiques des règles Th-Bât correspondant aux seuils de porte peuvent être utilisées.

3.2.16.2 *Facteurs de transmission solaire S_w de la véranda*

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

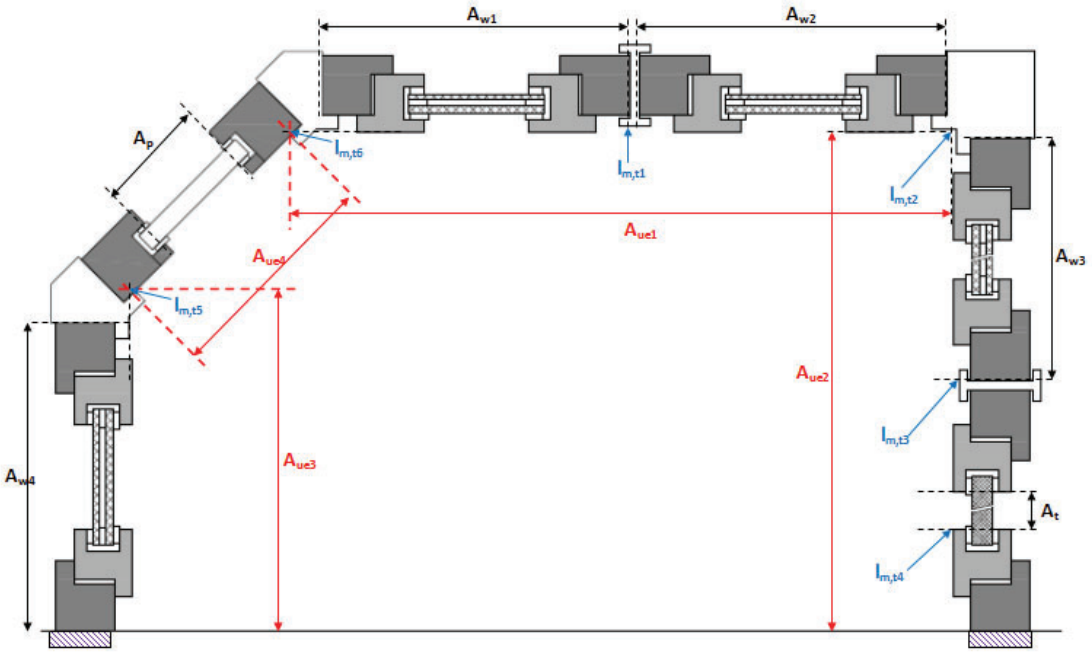


Figure 91 – Découpage de la véranda en coupes

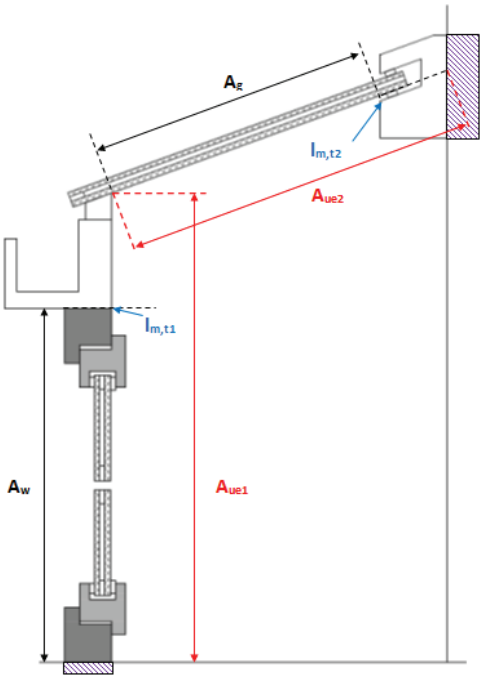


Figure 92 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

3.2.16.2.1 *Vérandas non chauffées*

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission de l'énergie solaire sans protection solaire $S_{we\text{-}sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $S_{we\text{-}ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$S_{we-sp,i} = \frac{\sum A_w.S_w+\sum A_g.S_g+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_t+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 158) ;}$$

$$S_{we-ap,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws}+\sum A_g.S_{gs}+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_t+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 159) ;}$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m².
- S_w, S_{ws} : facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g: la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m², sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- S_g, S_{gs} : facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- A_p: la plus petite surface des aires visibles des panneaux opaques, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_p : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux opaques, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.1.
- A_t: la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- S_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.
- $l_{m,t}$: linéique du montant ou de la traverse d'ossature, défini par l'intersection des deux plans pour un nœud d'angle et à l'axe du profilé pour un nœud courant, en m.
- $\Psi_{m,t}^*$: coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature, en W/(m.K). Si le nœud se situe en angle, $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t} / 2$, sinon $\Psi_{m,t}^* = \Psi_{m,t}$. Le coefficient de transmission thermique linéique du montant ou de la traverse d'ossature $\Psi_{m,t}$ est déterminé selon le paragraphe 3.2.16.1.2.1.
- $A_{ue,i}$: surface intérieure développée de l'élément i, définie par la surface comprise entre les intersections des plans côté intérieur de la véranda, en m².
- $\alpha_{e,m,t}$: coefficient d'absorption énergétique extérieur du montant ou de la traverse.
- h_e : coefficient d'échange superficiel extérieur, en W/(m².K).

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :
$\alpha_{e,m,t}$ = 0.60
h_e = 25 W/(m².K)

Note 1 : en cohérence avec la norme XP P50-777, l'impact des ponts thermiques dus aux jonctions entre éléments de remplissage et profilés sur les apports solaires est négligé.

Note 2 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

3.2.16.2.2 *Vérandas chauffées*

En cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la décomposition des facteurs solaires en composantes courte longueur d'onde « 1 » et réémise « 2 » ainsi que la distinction entre condition de référence « C » et d'été « E » sont requises et s'expriment par :

$$S_{w1-sp-c,b,i} = S_{w1-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{w1}+\sum A_g.S_{g1}+\sum A_t.S_{t1}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 160) ;}$$

$$S_{w2-sp-c,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{w2}^C+\sum A_g.S_{g2}^C+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_{t2}+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 161) ;}$$

$$S_{w2-sp-e,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{w2}^E+\sum A_g.S_{g2}^E+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_{t2}+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 162) ;}$$

$$S_{w1-ap-c,b,i} = S_{w1-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws1}+\sum A_g.S_{gs1}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 163) ;}$$

$$S_{w2-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws2}^C+\sum A_g.S_{gs2}^C+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_t+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 164) ;}$$

$$S_{w2-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws2}^E+\sum A_g.S_{gs2}^E+\sum A_p.S_p+\sum A_t.S_t+\sum l_{m,t}.\frac{\alpha_{e,m,t}\Psi_{m,t}^*}{h_e}}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 165) ;}$$

$$S_{w3-ap-c,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws3}^C+\sum A_g.S_{gs3}^C}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 166) ;}$$

$$S_{w3-ap-e,b,i} = \frac{\sum A_w.S_{ws3}^E+\sum A_g.S_{gs3}^E}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 167) ;}$$

avec :

- S_{w1}, S_{ws1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- S_{w2}^C, S_{ws2}^C, S_{w2}^E, S_{ws2}^E: composante réémise des facteurs de transmission de l'énergie solaire de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{ws3}^C, S_{ws3}^E: composante de ventilation de la lame d'air intérieur de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec protection intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminées à partir de la norme XP P50-777.
- S_{g1}, S_{gs1} : composante courte longueur d'onde des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{g2}^C, S_{gs2}^C, S_{g2}^E, S_{gs2}^E : composante réémise des facteurs de transmission de l'énergie solaire en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.

- S_{gs3}^{C}, S_{gs3}^{E} : composante de ventilation de la lame d'air intérieur en partie centrale des vitrages, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec protection solaire intérieure et en condition de référence ou d'été, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.2.1., 11.2.2. et 11.2.3. de la norme XP P50-777.
- S_{t1} : composante courte longueur d'onde du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.
- S_{t2} : composante réémise du facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.2.3.2.

3.2.16.2.3 *Facteur de transmission de l'énergie solaire des éléments de remplissage non vitrés*

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques (S_p) ou de panneaux translucides en polycarbonate (S_t). La décomposition en composantes courte longueur d'onde, grande longueur d'onde + convective et ventilation n'est pas requise.

3.2.16.2.3.1 Remplissage de type panneau opaque

Le coefficient de transmission de l'énergie solaire du panneau opaque S_p se calcule à partir de la formule suivante :

$$S_p = \alpha_{ep} \frac{U_p}{h_e} \qquad \text{(Formule 168) ;}$$

Avec :

U_p : Coefficient de transmission thermique du panneau opaque, en W/(m².K) déterminé dans le document méthodes - Parois opaques des Règles Th-Bât en tenant compte des ponts thermiques intégrés au panneau.

α_{ep} : Coefficient d'absorption énergétique moyen de la face extérieure du panneau opaque.

h_e : Coefficient d'échange thermique superficiel extérieur, en W/(m².K).

A défaut de valeurs disponibles, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

α_{ep} = 0.60

h_e = 25 W/(m².K).

3.2.16.2.3.2 Remplissage de type panneau polycarbonate

Le facteur de transmission de l'énergie solaire du panneau translucide polycarbonate S_t se calcule en additionnant les composantes 1 et 2 déterminées à partir du paragraphe 3.2.8.2.
Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission de l'énergie solaire déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont calculés sont forme de $\Psi_{m,t}$.

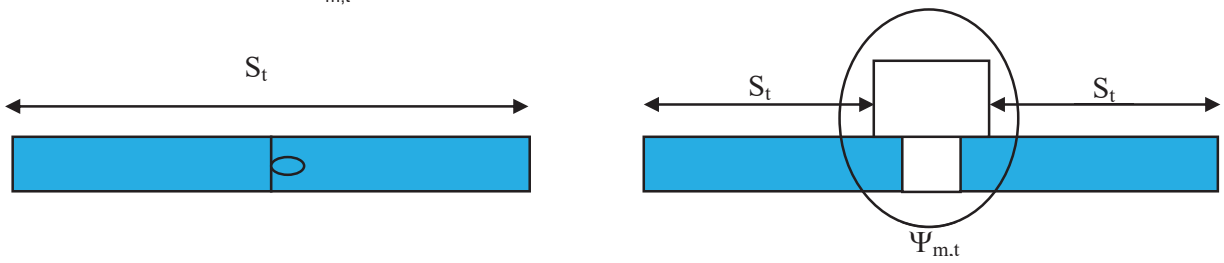


Figure 93 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

Note 1 : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, le facteur solaire de l'élément polycarbonate se décompose en composante courte longueur d'onde « 1 » et réémise « 2 » conformément au paragraphe 3.2.8.2.

3.2.16.2.4 *Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques*

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent…) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

3.2.16.3 *Facteurs de transmission lumineuse $TL_{e\text{-}sp,i}$ et $TL_{e\text{-}ap,i}$ de la véranda*

Cette méthode n'est valable que si les protections solaires éventuellement présentes sont associées à des vitrages (et non à des panneaux translucides en polycarbonate).

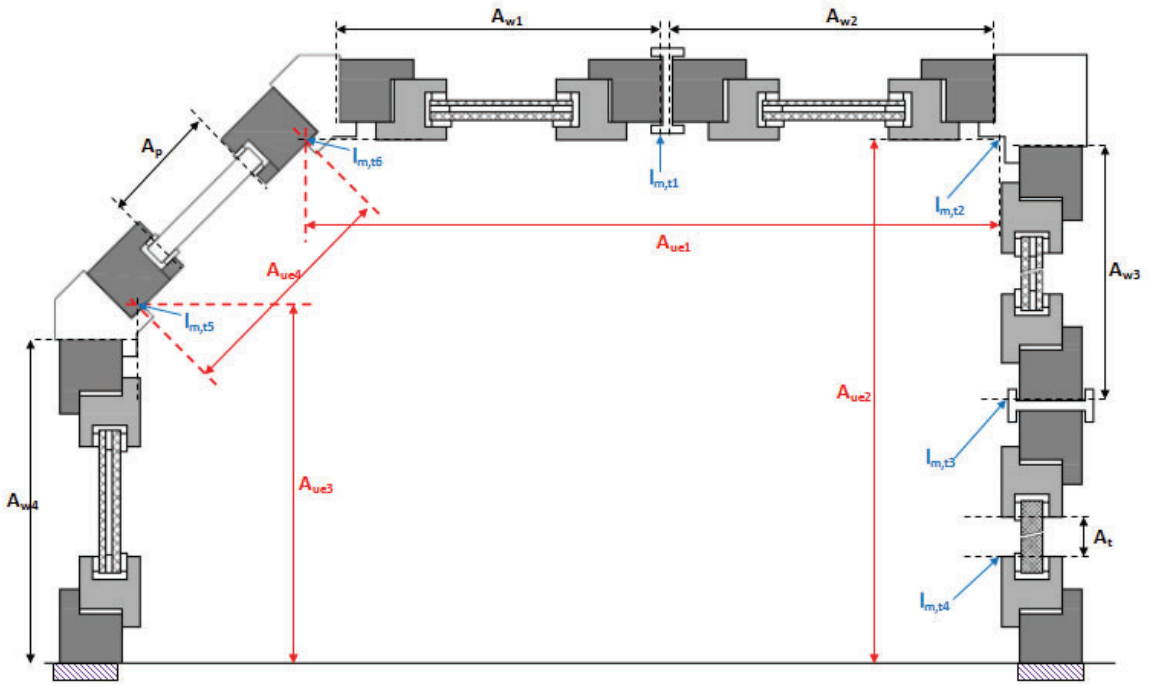


Figure 94 – Découpage de la véranda en coupes

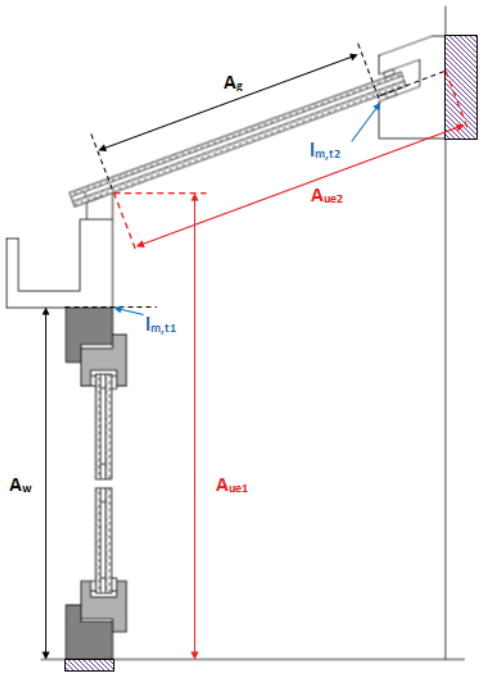


Figure 95 – Découpage entre une paroi verticale et une paroi inclinée

Pour chaque orientation et inclinaison, les facteurs de transmission lumineuse sans protection solaire $TL_{e\text{-}sp,i}$ et avec protection solaire pleinement déployée $TL_{e\text{-}ap,i}$ de la paroi s'obtiennent par les formules suivantes :

$$TL_{e-sp,i} = \frac{\sum A_w.TL_w + \sum A_g.TL_g + \sum A_t.TL_t}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 169) ;}$$

$$TL_{e-ap,i} = \frac{\sum A_w.TL_{ws} + \sum A_g.TL_{gs} + \sum A_t.TL_t}{A_{ue,i}} \quad \text{(Formule 170) ;}$$

avec :

- A_w : la plus petite surface intérieure de la fenêtre intégrée à la véranda, vue des deux côtés de la paroi, en m².
- TL_w, TL_{ws} : facteurs de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, avec ou sans protection, déterminés à partir de la norme XP P50-777.
- A_g: la plus petite surface des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi, en m², sans tenir compte des débordements des joints, à l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda.
- TL_g, TL_{gs} : facteurs de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, avec ou sans protection solaire, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.
- A_t: la plus petite surface des aires visibles des panneaux translucides en polycarbonate, vues des deux côtés de la paroi, en m².
- TL_t : facteur de transmission de l'énergie solaire des panneaux translucides en polycarbonate, en W/(m².K), déterminé par le paragraphe 3.2.16.3.1.1.

Note 1 : un correctif dû à la prise en compte de l'incidence variable sur les fenêtres et vitrages devraient être considéré. Par soucis de simplification et au vu du faible impact de ce correctif (0.95 à 1 dans la majorité des cas), il est négligé.

Note 2 : en cas de véranda chauffée, les parois doivent être saisies comme des baies : la part diffusée en cas de protection solaire déployée est requise et s'exprime par :

$$Tlid_{ap,b,i} = \frac{\sum A_w.TL_{ws,dif} + \sum A_g.TL_{gs,dif}}{A_{ue,i}}$$ (Formule 171) ;

avec :

- *$TL_{ws,dif}$: part diffusée par la protection solaire du facteur de transmission lumineuse de la fenêtre intégrée à la véranda à incidence normale, déterminée à partir de la norme XP P50-777.*
- *$TL_{gs,dif}$: part diffusée du facteur de transmission lumineuse en partie centrale des vitrages, l'exclusion des vitrages des fenêtres intégrées à la véranda, déterminés à incidence normale à partir des paragraphes 11.3.1. et 11.3.2. de la norme XP P50-777.*

3.2.16.3.1 *Facteur de transmission lumineuse des éléments de remplissage non vitrés*

Les éléments de remplissages peuvent être constitués de panneaux opaques (TL_p = 0) ou de panneaux translucides en polycarbonate (TL_t). La part diffusée par le polycarbonate est négligée ($TL_{t,dif}$ = 0) ce qui correspond à des produits transparents.

3.2.16.3.1.1 Remplissage de type panneau polycarbonate

Le facteur de transmission lumineuse du panneau translucide polycarbonate TL_t se calcule à partir de la formule suivante :

$$TL_t = 0.85 \times \tau_{v,n-h}$$ (Formule 172) ;

$\tau_{v,n-h}$: Taux de transmission lumineuse normal-hémisphérique du polycarbonate à incidence normale, déterminés à partir du projet de norme NF EN 16153.

Dans le cas d'un panneau en polycarbonate sans profilé apparent, le facteur de transmission lumineuse déterminé au centre du panneau est supposé s'appliquer sur tout le panneau. Si les panneaux sont joints par des profilés apparents (même translucides), ces profilés sont supposés opaques et comptés comme un $b_{m,t}$.

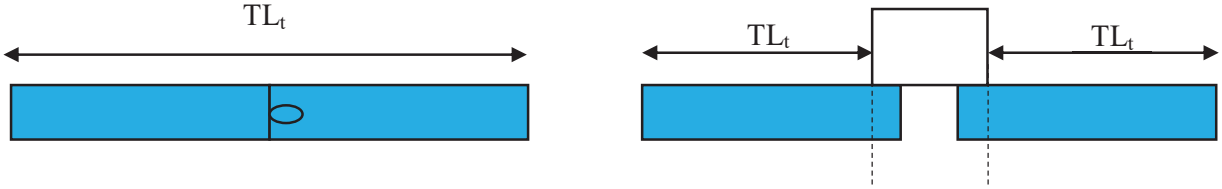


Figure 96 – Jonction de deux panneaux en polycarbonate sans et avec profilés apparents

NB : le correctif appliqué pour tenir compte de l'incidence variable sur les plaques de PCA est supposés identique pour les plaques verticales et horizontales.

3.2.16.3.2 *Intégration dans l'ouvrage, prise en compte des masques*

L'intégration dans l'ouvrage se fait directement dans la méthode de destination en renseignant tout masque proche, qu'il soit lié au bâtiment support de la véranda (par exemple débord de toit, mur de refend adjacent…) ou aux éléments de la véranda elle-même (par exemple de débord extérieur lié à la sablière). Toutefois, dans ce dernier cas, si le débord extérieur du masque est inférieur au dixième de la hauteur de la paroi verticale, son effet peut être négligé.

3.2.17 PRESENTATION DES RESULTATS

3.2.17.1 ***Règles d'arrondis des valeurs***

Tableau 24 : Synthèse des règles d'arrondi

Grandeurs		Règle d'arrondi	Unité
Flux thermique total	Obtenu par calcul numérique	4 chiffres après la virgule	W/K (en 2D) ou W (en 3D)
Résistance thermique	superficielles R_{si}, R_{se}	2 décimales	m^2K/W
	matériau R_i		
	lame d'air R_s		
	additionnelle ΔR		
Conductivité thermique λ	---	$\lambda \leq 0,08$: arrondie à 0,001 W/(m.K) près, par excès $0,08 < \lambda \leq 0,20$: arrondie à 0,005 W/(m.K) près, par excès $0,20 < \lambda \leq 2,00$: arrondie à 0,01 W/(m.K) près, par excès $2,0 < \lambda$: arrondie à 0,1 W/(m.K) près, par excès	W/m.K
Coefficient linéique Ψ	---	2 chiffres significatifs	W/m.K
Coefficient de transmission surfacique	U_w, U_d, U_{cw}, U_{CL}, U_v, U_p, U_f, U_c, ΔU, U_{ws}, U_{jn}, $U_{bb,jn}$	2 chiffres significatifs	W/m^2K
	U_g vitrage	1 chiffre après la virgule	W/m^2K
	U_e, U_{p1}, U_{c1} (coffre)	3 chiffres significatifs	W/m^2K
Dimension	Epaisseur de couche de matériau	2 chiffres significatifs	m
	Longueur ou largeur b	3 chiffres significatifs	
	Périmètre l	4 chiffres après la virgule	
	critère de perméabilité P_e	2 chiffres après la virgule	mm
	e_{tot}	1 chiffre	
Surface A	---	4 chiffres après la virgule	m^2
Rapport p entre surface des vides et surface totale du tablier	---	1 chiffre	%

3.2.17.2 ***Justifications***

En plus des justifications concernant les différents éléments de la paroi vitrée, un dessin de la paroi entière (ou du module entier) doit indiquer les aires des éléments opaques et vitrés ainsi que les périmètres des intercalaires ou cadres éventuels.

La source de toute valeur utilisée sans calcul particulier, doit être clairement indiquée.

3.3 Intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage

3.3.1 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU COEFFICIENT U_W DE LA PAROI VITREE

L'intégration dans l'ouvrage des parois vitrées se caractérise par la détermination de ponts thermiques de liaisons conformément au document Méthodes - Ponts Thermiques.

Dans la méthode de calcul de certains procédés particuliers de parois vitrées, des ponts thermiques supplémentaires sont à prendre en compte (exemple : fenêtre à galandage).

3.3.2 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU COEFFICIENT S_W DE LA PAROI VITREE

Dans le cadre des facteurs de transmission solaire, les normes listées au §. 3.1.4 s'articulent de la manière suivante :

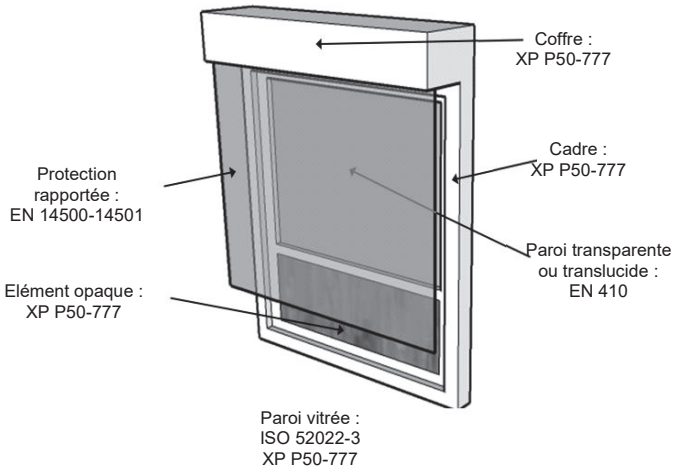


Figure 97 : Caractérisation de l'assemblage de composants de la paroi vitrée

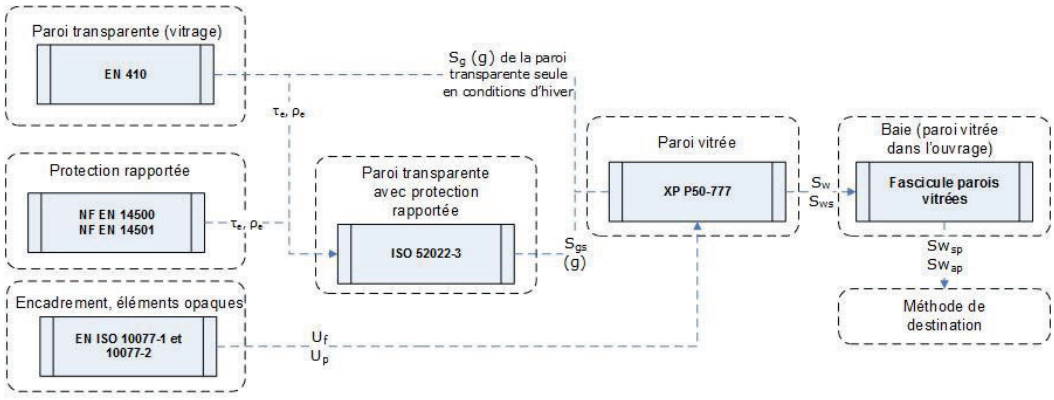


Figure 98 : Communications entre les textes normatifs pour la définition des facteurs de transmission solaires des baies

3.3.2.1 *Généralités*

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $F^{fs}_{bâti}$: les masques proches et le contour de la baie ont pour effet de réduire le rayonnement incident dans le plan du vitrage.

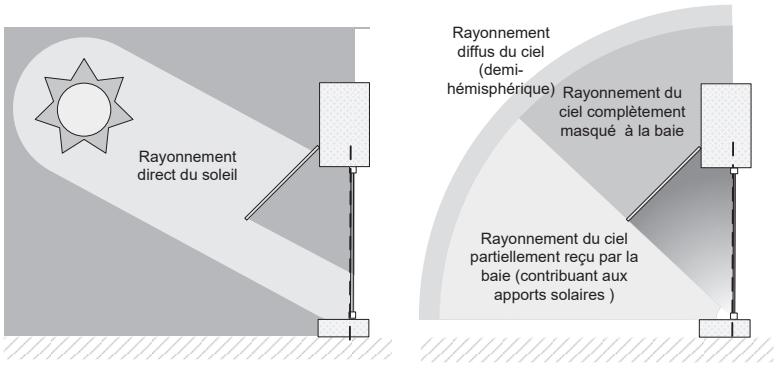


Figure 99 : Réduction d'éclairement associé à un masque proche à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable du rayonnement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et du sol sur le vitrage: F^{fs}_{iv}

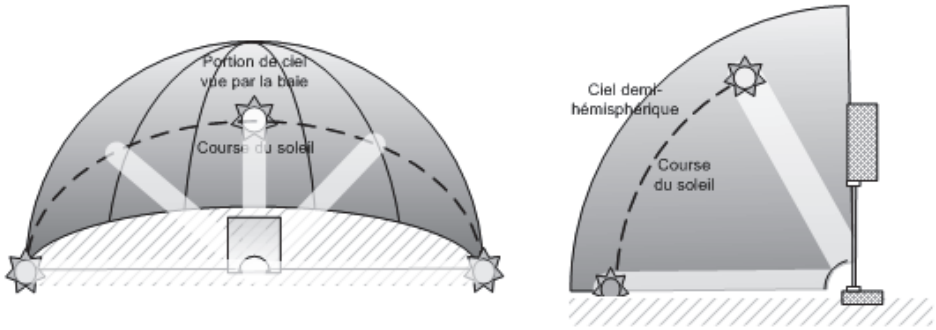


Figure 100 : Variations de l'angle d'incidence et l'angle de profil (hauteur du soleil corrigée) sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

Un rayonnement atteignant une surface vitrée avec une incidence rasante est moins transmis vers l'intérieur que s'il arrivait à incidence normal. Les masques dus à l'intégration de la paroi vitrée dans l'ouvrage ont un effet sélectif sur le rayonnement atteignant le vitrage. De fait, les rayonnements avec des angles d'incidence les plus éloignés de la normale sont déjà arrêtés par les masques générés par l'ouvrage. Dans ce cas, le correctif dû à l'angle d'incidence s'appliquera uniquement aux rayonnements atteignant le vitrage avec un angle proche de la normale donc peu sensible à ce paramètre. Il en ressort que, plus le masque est sélectif, plus le correctif sur l'angle d'incidence est proche de 1.

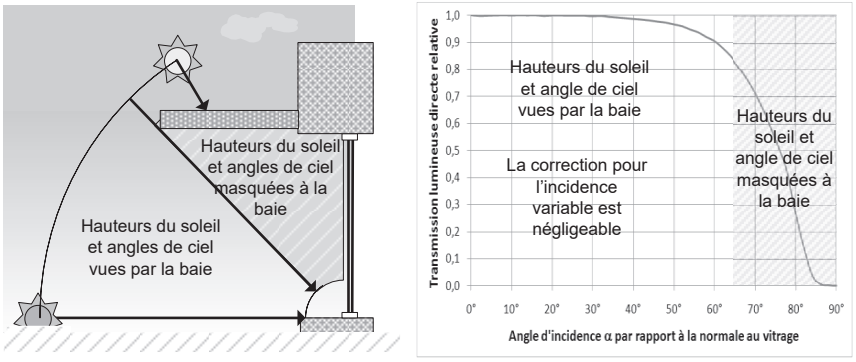


Figure 101 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence du rayonnement du soleil sur le vitrage

3.3.2.2 *Formules générales*

3.3.2.2.1 *Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place*

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 25 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies sans protection rapportée

Incidence	***Composante intérieure***	***Résultat de l'application de la méthode***	
		C	***E***
Toutes incidences	**Global**	$Sw_{sp\text{-}c,b}$	$Sw_{sp\text{-}e,b}$
	1 : CLO	$Sw1_{sp\text{-}c,b}$	$Sw1_{sp\text{-}e,b}$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{sp\text{-}c,b}$	$Sw2_{sp\text{-}e,b}$
	3 : lame d'air intérieure ventilée	$Sw3_{sp\text{-}c,b}$	$Sw3_{sp\text{-}e,b}$

Note : dans ce cas de figure, les facteurs pour les rayonnements directs provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-c,b} \\ Sw2_{sp-c,b} \\ Sw3_{sp-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C}.F_{bati\_dir}^{fs,C}.F_{iv\_dir}^{fs,C} + (1-R_{dir}^{fs,C}).F_{bati\_dif}^{fs}.F_{iv\_dif}^{fs}\right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^{C} \\ S_{w2}^{C} \\ S_{w3}^{C} \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 173) ;}$$

$$Sw_{sp-c,b} = Sw1_{sp-c,b} + Sw2_{sp-c,b} + Sw3_{sp-c,b} \quad \text{(Formule 174) ;}$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{sp-e,b} \\ Sw2_{sp-e,b} \\ Sw3_{sp-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E}.F_{bati\_dir}^{fs,E}.F_{iv\_dir}^{fs,E} + (1-R_{dir}^{fs,E}).F_{bati\_dif}^{fs}.F_{iv\_dif}^{fs}\right) \times \begin{bmatrix} S_{w1}^{E} \\ S_{w2}^{E} \\ S_{w3}^{E} \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 175) ;}$$

$$Sw_{sp-e,b} = Sw1_{sp-e,b} + Sw2_{sp-e,b} + Sw3_{sp-e,b} \quad \text{(Formule 176) ;}$$

Où :

- $F^{fs,C}_{bati\_dir}$, $F^{fs,E}_{bati\_dir}$ *et* $F^{fs}_{bati\_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.2 ;
- $F^{fs,C}_{iv\_dir}$, $F^{fs,E}_{iv\_dir}$ *et* $F^{fs}_{iv\_dif}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.3 ;
- $R^{fs,C}_{dir}$ *et* $R^{fs,E}_{dir}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 28 (§ 3.3.2.3.1).

3.3.2.2.2 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'a lames inclinées en place*

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 26 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants de baies avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées

Incidence	*Composante intérieure*	*Résultat de l'application de la méthode*	
		C	*E*
Toutes incidences	**Global**	$Sw_{ap\text{-}c,b}$	$Sw_{ap\text{-}e,b}$
	1 : CLO	$Sw1_{ap\text{-}c,b}$	$Sw1_{ap\text{-}e,b}$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{ap\text{-}c,b}$	$Sw2_{ap\text{-}e,b}$
	3 : lame d'air intérieure ventilée	$Sw3_{ap\text{-}c,b}$	$Sw3_{ap\text{-}e,b}$

Note : dans ce cas de figure également, les facteurs pour les rayonnements direct provenant du soleil, diffus et réfléchi par le sol sont égaux.

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$\begin{bmatrix} Sw1_{ap-c,b} \\ Sw2_{ap-c,b} \\ Sw3_{ap-c,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,C}.F_{bati\_dir}^{fs,C}.F_{iv\_dir}^{fs,C} + (1-R_{dir}^{fs,C}).F_{bati\_dif}^{fs}.F_{iv\_dif}^{fs}\right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^{C} \\ S_{ws2}^{C} \\ S_{ws3}^{C} \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 177) ;}$$

$$Sw_{ap-c,b} = Sw1_{ap-c,b} + Sw2_{ap-c,b} + Sw3_{ap-c,b} \quad \text{(Formule 178) ;}$$

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$\begin{bmatrix} Sw1_{ap-e,b} \\ Sw2_{ap-e,b} \\ Sw3_{ap-e,b} \end{bmatrix} = \left(R_{dir}^{fs,E}.F_{bati\_dir}^{fs,E}.F_{iv\_dir}^{fs,E} + (1-R_{dir}^{fs,E}).F_{bati\_dif}^{fs}.F_{iv\_dif}^{fs}\right) \times \begin{bmatrix} S_{ws1}^{E} \\ S_{ws2}^{E} \\ S_{ws3}^{E} \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 179) ;}$$

$$Sw_{ap-e,b} = Sw1_{ap-e,b} + Sw2_{ap-e,b} + Sw3_{ap-e,b} \quad \text{(Formule 180) ;}$$

Où :

- $F^{fs,C}_{bati\_dir}$, $F^{fs,E}_{bati\_dir}$ et $F^{fs}_{bati\_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au § 3.3.2.3.2 ;
- $F^{fs,C}_{iv\_dir}$, $F^{fs,E}_{iv\_dir}$ et $F^{fs}_{iv\_dif}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.3 ;

- $R^{fs,C}_{dir}$ et $R^{fs,E}_{dir}$ sont les parts de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global sur la baie dans les conditions C et les conditions E, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 28 (§3.3.2.3.1).

3.3.2.2.3 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place*

Pour une protection à lames, on opère une distinction selon l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau 27 : Sorties des facteurs de transmission solaire pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

Incidence	*Composante intérieure*	*Résultat de l'application de la méthode*	
		C	*E*
Directe quelconque	**Global**	$\boldsymbol{Sw_{ap,dir\text{-}c,b}(\eta,\alpha)}$	$\boldsymbol{Sw_{ap,dir\text{-}e,b}(\eta,\alpha)}$
	1 : CLO	$Sw1_{ap,dir\text{-}c,b}(\eta,\alpha)$	$Sw1_{ap,dir\text{-}e,b}(\eta,\alpha)$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{ap,dir\text{-}c,b}(\eta,\alpha)$	$Sw2_{ap,dir\text{-}e,b}(\eta,\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$Sw3_{ap,dir\text{-}c,b}(\eta,\alpha)$	$Sw3_{ap,dir\text{-}e,b}(\eta,\alpha)$
Diffuse	**Global**	$\boldsymbol{Sw_{ap,dif\text{-}c,b}(\alpha)}$	$\boldsymbol{Sw_{ap,dif\text{-}e,b}(\alpha)}$
	1 : CLO	$Sw1_{ap,dif\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw1_{ap,dif\text{-}e,b}(\alpha)$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{ap,dif\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw2_{ap,dif\text{-}e,b}(\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$Sw3_{ap,dif\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw3_{ap,dif\text{-}e,b}(\alpha)$
Réfléchie	**Global**	$\boldsymbol{Sw_{ap,ref\text{-}c,b}(\alpha)}$	$\boldsymbol{Sw_{ap,ref\text{-}e,b}(\alpha)}$
	1 : CLO	$Sw1_{ap,ref\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw1_{ap,ref\text{-}e,b}(\alpha)$
	2 : GLO et convective	$Sw2_{ap,ref\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw2_{ap,ref\text{-}e,b}(\alpha)$
	3 : lame d'air ventilée	$Sw3_{ap,ref\text{-}c,b}(\alpha)$	$Sw3_{ap,ref\text{-}e,b}(\alpha)$

Note : les valeurs sont déterminées pour η variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante à partir des données issues des normes :

- En conditions de calcul des consommations (C):

$$Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = F^{fs,C}_{bati\_dir} \times F^{fs,C}_{iv\_dir} \times S^{C}_{ws1,dir}(\eta,\alpha) \quad \text{(Formule 181) ;}$$

$$Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws1,dif}(\alpha) \quad \text{(Formule 182) ;}$$

$$Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws1,ref}(\alpha) \quad \text{(Formule 183) ;}$$

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = F_{bati\_dir}^{fs,C} \times F_{iv\_dir}^{fs,C} \times S_{ws2}^{C}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = F_{bati\_dir}^{fs,C} \times F_{iv\_dir}^{fs,C} \times S_{ws3}^{C}(\eta,\alpha)$$

(Formule 184) ;

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws2}^{C}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws3}^{C}(\eta,\alpha)$$

(Formule 185) ;

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws2}^{C}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws3}^{C}(\eta,\alpha)$$

(Formule 186) ;

$$Sw_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = Sw1_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) + Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) + Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha)$$
$$Sw_{ap,dif-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha)$$
$$Sw_{ap,ref-c,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha)$$

(Formule 187) ;

- En conditions de confort d'été ou de dimensionnement des systèmes de refroidissement (E) :

$$Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = F_{bati\_dir}^{fs,E} \times F_{iv\_dir}^{fs,E} \times S_{ws1,dir}^{E}(\eta,\alpha)$$

(Formule 188) ;

$$Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times S_{ws1,dif}^{E}(\alpha)$$

(Formule 189) ;

$$Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times S_{ws1,ref}^{E}(\alpha)$$

(Formule 190) ;

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = F_{bati\_dir}^{fs,E} \times F_{iv\_dir}^{fs,E} \times S_{ws2}^{E}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = F_{bati\_dir}^{fs,E} \times F_{iv\_dir}^{fs,E} \times S_{ws3}^{E}(\eta,\alpha)$$

(Formule 191) ;

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws2}^{E}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws3}^{E}(\eta,\alpha)$$

(Formule 192) ;

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws2}^{E}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F_{bati\_dif}^{fs} \times F_{iv\_dif}^{fs} \times \frac{1}{6} \sum_{\eta=[0;\ldots;75°]}^{6} S_{ws3}^{E}(\eta,\alpha)$$

(Formule 193) ;

$$Sw_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = Sw1_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) + Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) + Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha)$$
$$Sw_{ap,dif-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha)$$
$$Sw_{ap,ref-e,b}(\alpha) = Sw1_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) + Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha)$$

(Formule 194) ;

Où :

- $F^{fs,C}_{bati\_dir}$, $F^{fs,E}_{bati\_dir}$, et $F^{fs}_{bati\_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage pour les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.2 ;

- $F^{fs,C}_{iv\_dir}$, $F^{fs,E}_{iv\_dir}$ et $F^{fs}_{iv\_dif}$ sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus sur les facteurs solaires en conditions de référence C et E, calculés selon la procédure décrite au §3.3.2.3.3.

Note : pour le cas particulier de protections mobiles rapportées à lames inclinées gérées en fonction « *suivi solaire* » (ou suntracking), les facteurs de transmission solaire $S_{ws2}^{C}(\eta,\alpha)$, $S_{ws2}^{E}(\eta,\alpha)$, $S_{ws3}^{C}(\eta,\alpha)$ et $S_{ws3}^{E}(\eta,\alpha)$ ne sont plus déterminés qu'une fois pour chaque valeur d'inclinaison des lames α (soit 6 valeurs). En effet, chaque inclinaison des lames correspond alors à un unique angle de profil donné η_α.

En conditions C, pour une gestion en suivi solaire (suntracking) :

$$Sw2_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = F^{fs,C}_{bati\_dir} \times F^{fs,C}_{iv\_dir} \times S^{C}_{ws2}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dir-c,b}(\gamma',\alpha) = F^{fs,C}_{bati\_dir} \times F^{fs,C}_{iv\_dir} \times S^{C}_{ws3}(\eta,\alpha)$$
(Formule 195) ;

$$Sw2_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws2}(\eta_\alpha,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dif-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws3}(\eta_\alpha,\alpha)$$
(Formule 196) ;

$$Sw2_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws2}(\eta_\alpha,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,ref-c,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{C}_{ws3}(\eta_\alpha,\alpha)$$
(Formule 197) ;

En conditions E, pour une gestion en suivi solaire (suntracking) :

$$Sw2_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = F^{fs,E}_{bati\_dir} \times F^{fs,E}_{iv\_dir} \times S^{E}_{ws2}(\eta,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dir-e,b}(\gamma',\alpha) = F^{fs,E}_{bati\_dir} \times F^{fs,E}_{iv\_dir} \times S^{E}_{ws3}(\eta,\alpha)$$
(Formule 198) ;

$$Sw2_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{E}_{ws2}(\eta_\alpha,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,dif-e,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{E}_{ws3}(\eta_\alpha,\alpha)$$
(Formule 199) ;

$$Sw2_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{E}_{ws2}(\eta_\alpha,\alpha)$$
$$Sw3_{ap,ref-e,b}(\alpha) = F^{fs}_{bati\_dif} \times F^{fs}_{iv\_dif} \times S^{E}_{ws3}(\eta_\alpha,\alpha)$$
(Formule 200) ;

3.3.2.3 *Coefficients de correction*

Le présent chapitre décrit les méthodes de calcul des coefficients de correction des facteurs de transmission solaire pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour le rayonnement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et réfléchi par le sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des rayonnements directs du soleil et diffus du ciel sur une année et une période d'été, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

Les tableaux présentent les coefficients en distinguant les conditions de calcul associées : calcul de consommation « C », éventuellement propre à des locaux non climatisés « C ch » ou climatisés « C clim », et calcul de confort d'été et de dimensionnement des systèmes de refroidissement « E ».

Note : par souci de simplification, les coefficients de correction pour les rayonnements diffus en provenance du ciel et réfléchi par le sol ne seront pas distingués et seront regroupés dans un coefficient diffus moyen.

3.3.2.3.1 *Distinction entre rayonnement direct du soleil et diffus*

On introduit ci-dessous les pourcentages de rayonnement direct du soleil $R^{fs,C}_{dir}$ et $R^{fs,E}_{dir}$, selon plusieurs orientations et inclinaisons de la baie. Pour une baie d'inclinaison et orientation intermédiaires entre deux valeurs, les ratios $R^{fs,C}_{dir}$ et $R^{fs,E}_{dir}$ seront déterminés par interpolation linéaire.

Tableau 28 : Part du rayonnement direct du soleil dans le rayonnement total atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

Inclinaison de la paroi	Orientation de la paroi	$R^{fs,C}_{dir}$	$R^{fs,E}_{dir}$
Vertical (β = 90°)	Sud (θ = 0°)	0,55	0,40
	Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,45	0,45
	Nord (θ = 180°)	0,05	0,05
Inclinée (β = 45°)	Sud (θ = 0°)	0,60	0,60
	Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,50	0,55
	Nord (θ =180°)	0,30	0,45
Horizontal (β = 0°)		0,55	0,60

3.3.2.3.2 *Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage*

L'intégration à l'ouvrage impacte sur le facteur solaire par la création de masques proches de conception (débords horizontaux et verticaux, protections fixes, brise-soleils) ou intrinsèques (contour de la baie).

Afin de caractériser les dimensions de la baie, on introduit un coefficient de forme K_s, défini de la manière suivante :

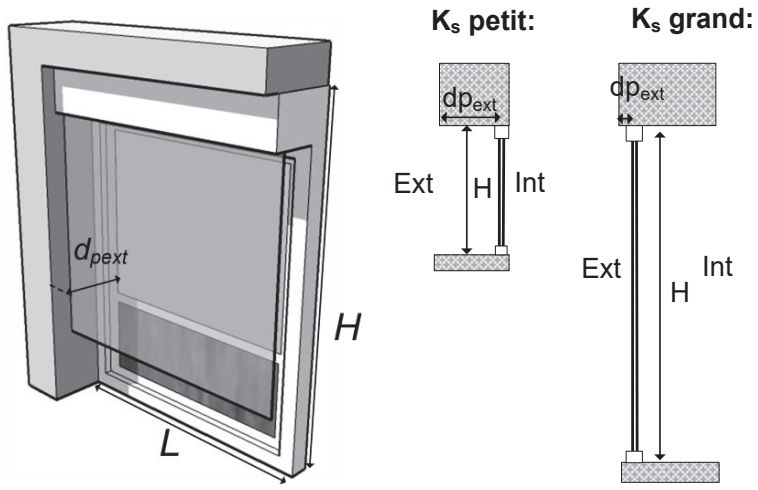


Figure 102 : Coefficient caractéristique de la baie Ks

$$K_s = \frac{L.H}{d_{pext}.(L+H)}$$ (Formule 201) ;

Où :

- d_{pext} est la distance entre le plan extérieur de la paroi transparente (vitrage) et le plan extérieur de la paroi opaque, isolation comprise, en mètres,
- L et H les dimensions de la baie, en mètres.

Ce coefficient est fortement dépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie ; ainsi, pour un vitrage au nu extérieur le coefficient K_s tend vers de grandes valeurs, alors qu'il est petit pour un vitrage au nu intérieur.

Baie d'inclinaison inférieure à 60° (de horizontale à inclinée)

Les baies dont l'inclinaison β est strictement inférieure à 60° ne font pas l'objet de correctifs pour l'intégration à l'ouvrage. Les parois vitrées inclinées sont en effet systématiquement placées au nu extérieur. L'effet des éventuels masques proches est considéré négligeable.

$$F^{fs,C}_{bati\_dir} = F^{fs,E}_{bati\_dir} = F^{fs}_{bati\_dif} = 1$$

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° avec débords latéraux et/ou surplombs (hors tableau de la baie)

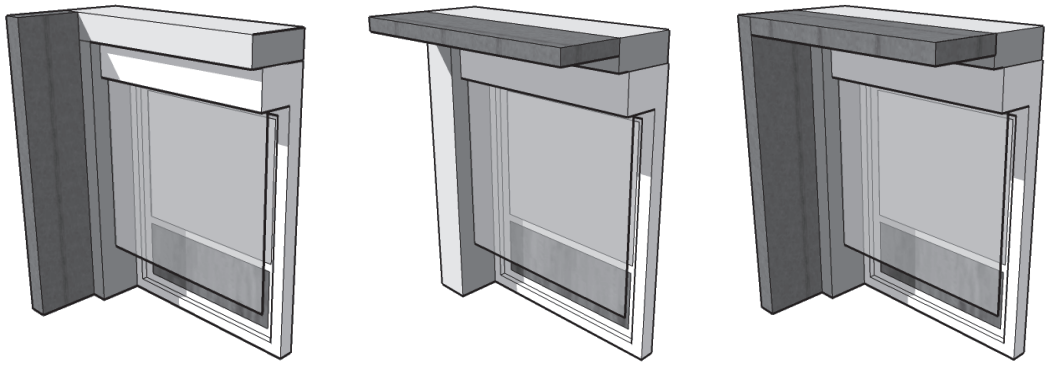


Figure 103: masques proches de type débords latéraux et surplombs

La prise en compte des masques proches de type débords latéraux et surplombs des baies verticales relève directement de la méthode de calcul de destination. Cette prise en compte passe par des masques proches verticaux et horizontaux équivalents, englobant l'impact du tableau des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission solaire, ce cas de figure se traduit par :

$$F^{fs,C}_{bati\_dir} = F^{fs,E}_{bati\_dir} = F^{fs}_{bati\_dif} = 1$$

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° sans masques proches de conception (tableau de la baie seul)

L'intégration de la paroi vitrée dans la baie peut être source de réduction du facteur solaire, par effet de masque du contour de la baie. Cet impact dépend de la position de la paroi vitrée dans la baie, des dimensions de la baie, et de l'épaisseur de la paroi opaque.

Par simplification, si d_{pext} < 5 cm ou K_s > 25, l'impact du contour de la baie est négligé :

$$F^{fs,C}_{bati\_dir} = F^{fs,E}_{bati\_dir} = F^{fs}_{bati\_dif} = 1$$

Sinon, les coefficients de correction pour le rayonnement direct du soleil dépendent de l'orientation de la paroi et des conditions de référence C ($F^{fs,C}_{bati\_dir}$) ou E ($F^{fs,E}_{bati\_dir}$).

Tableau 29 : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement direct (soleil) $F^{fs,C}_{bati\_dir}$ et $F^{fs,E}_{bati\_dir}$ selon la valeur de K_s

Orientation la baie	Conditions	K_s				
		1,5 ou moins	4	7	10	25 ou plus
Sud (θ = 0°)	**C clim**	0,50	0,80	0,90	0,95	1,0
	C ch	0,65	0,90	0,95	0,95	1,0
	E	0,25	0,70	0,85	0,90	1,0
Est/ouest (θ = 270°/90°)	**C et E**	0,50	0,75	0,90	0,90	1,0
Nord (θ = 180°)	**C et E**	0,05	0,20	0,35	0,45	1,0

Le coefficient de correction pour le rayonnement diffus $F^{fs}_{bati\_dif}$ ne dépend pas de l'orientation de la paroi :

Tableau 30 : Valeurs du coefficient de prise en compte de l'intégration à l'ouvrage de la paroi vitrée pour le rayonnement diffus $F^{fs}_{bati\_dif}$ selon la valeur de K_s

Orientation la baie	Valeur de K_s				
	1,5 ou moins	4	7	10	25 ou plus
Toutes	0,55	0,80	0,90	0,90	1,0

Pour des valeurs de K_s intermédiaires, une interpolation linéaire entre les deux valeurs l'encadrant sera réalisée.

Baies d'inclinaison supérieure ou égale à 60° avec masque à projection

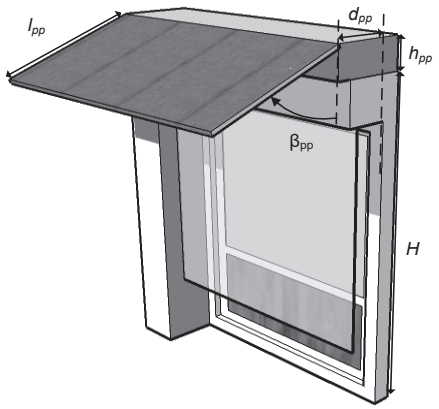


Figure 104 : Illustration: masque à projection inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H}$$ (Formule 202) ;

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 104.

On introduit β_{pp} l'angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection, τ le facteur de transmission global du matériau constituant ce dernier, et C_o le coefficient d'ouverture du masque, équivalent à celui d'un masque à projection, tel que défini dans la norme NF EN 14500.

Pour l'éclairement direct du soleil :

Tableau 31 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F^{fs}_{bati\_dir}$

r_{pp}	K_s	*Orientation de la baie*	*Cond.*	β_{pp} = 45°			β_{pp} = 90°		
				τ=0	τ=0,2 C_o=0	τ=0,2 C_o=0,2	τ=0	τ=0,2 C_o=0	τ=0,2 C_o=0,2
0	1,5 ou moins	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,45					
			C ch	0,60					
			E	0,20					
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,55					
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,05					
	7	Sud (θ=0°)	***C***	0,85					
			E	0,75					
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,90					
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,55					
	25 ou plus	Toute orientation	***C et E***	1					
0,5	1,5 ou moins	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,20	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35
			C ch	0,30	0,35	0,40	0,50	0,50	0,55
			E	0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,30	0,35	0,35	0,50	0,50	0,50
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	7	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,45	0,50	0,50	0,65	0,65	0,70
			C ch	0,55	0,60	0,65	0,80	0,80	0,80
			E	0,20	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,50	0,55	0,60	0,75	0,75	0,75
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,50	0,50	0,50	0,65	0,65	0,65
	25 ou plus	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,60	0,65	0,70	0,80	0,80	0,85
			C ch	0,75	0,75	0,80	0,95	0,95	0,95
			E	0,40	0,50	0,55	0,55	0,55	0,65
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,70	0,75	0,75	0,90	0,90	0,90
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,85	0,85	0,90	1	1	1

Tableau 32 (suite) : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F^{fs}_{bati\_dir}$

r_{pp}	K_s	Orientation de la baie	Cond.	β_{pp} = 45°			β_{pp} = 90°		
				τ=0	τ=0,2 C_o=0	τ=0,2 C_o=0,2	τ=0	τ=0,2 C_o=0	τ=0,2 C_o=0,2
1	1,5 ou moins	Sud (θ=0°)	***C clim***	0	0,10	0,10	0,20	0,20	0,25
			C ch	0,05	0,10	0,15	0,35	0,35	0,40
			E	0	0,05	0,05	0	0	0,05
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,05	0,10	0,15	0,30	0,35	0,35
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0	0	0	0,05	0,05	0,05
	7	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,05	0,15	0,20	0,35	0,35	0,45
			C ch	0,10	0,20	0,25	0,55	0,55	0,60
			E	0	0,10	0,15	0,05	0,10	0,20
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,10	0,20	0,25	0,45	0,50	0,55
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,20	0,25	0,30	0,60	0,60	0,60
	25 ou plus	Sud (θ=0°)	***C clim***	0,10	0,25	0,30	0,45	0,50	0,55
			C ch	0,20	0,30	0,35	0,70	0,70	0,75
			E	0	0,15	0,20	0,10	0,15	0,30
		Est/ouest (θ=270°/90°)	***C et E***	0,15	0,30	0,35	0,60	0,60	0,70
		Nord (θ=180°)	***C et E***	0,40	0,45	0,50	0,95	0,95	0,95

Pour l'éclairement diffus du ciel et réfléchi par le sol :

Tableau 33 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fs}_{bati\_dif}$

K_s	β_{pp} = 45°	β_{pp} = 90°
1,5 ou moins	0,30	0,55
7	0,45	0,90
25 ou plus	0,50	0,95

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

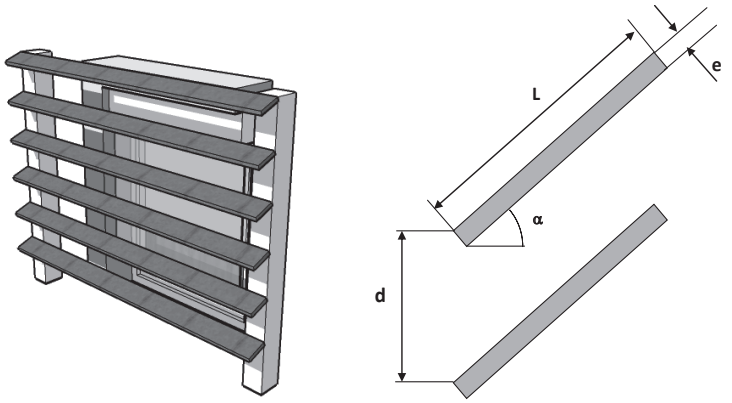


Figure 105 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

La méthode simplifiée consiste à assimiler le brise-soleil à une protection rapportée à lames minces équivalente. Cette méthode n'est applicable que pour des parois verticales et pour des produits dont les lames sont assimilables à des parallélépipèdes, dont l'épaisseur *e* est inférieure à 10% de la largeur *L* (soit *e < 0,1 x L*). Les coefficients de correction calculés selon cette méthode doivent être arrondis à 0.05 près (exemple 0.21=0.20 et 0.23 = 0.27 =0.25).

Les étapes sont les suivantes :

- **Détermination des caratéristiques de transmission équivalentes du brise-soleil à lames inclinées**

Les caractéristiques de transmission équivalente pour les rayonnements directs, diffus du ciel et réfléchi par le sol se calculent selon l'Annexe A de la norme XP P50-777, pour l'angle d'inclinaison α propre au brise-soleil étudié et pour 7 angles de profils η(de 0° à 90°) du rayonnement direct.

Tableau 34 : Récapitulatif des caractéristiques de transmission énergétique du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

	$T_{e,dir-h}$ (η)							$T_{e,dif-ciel-h}$	$T_{e,ref-sol-h}$
η	*0*	*15*	*30*	*45*	*60*	*75*	*90*	-	-

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique r = d/L propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90°. Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau 34, le τ_{dir-h} (η) se détermine par interpolation linéaire.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil :**

Le calcul d'un coefficient de correction applicable au facteur de transmission solaire de la baie implique de réaliser un calcul du rayonnement global transmis au travers des lames du brise-soleil au pas de temps horaire *t*, et d'intégrer ensuite ces résultats sur l'ensemble de la période considérée *[t1 ;t2]* (variable selon les conditions Cch, Cclim ou E). Le calcul est mené à partir des données météorologique de la zone climatique H2b (Tours) au sens du chapitre IV de l'annexe à l'article R. 172- du code de la construction et de l'habitation.

Pour une heure donnée, dans la zone climatique considérée, il est nécessaire de connaitre :

- $\Psi(t)$, angle entre la direction du soleil projetée dans le plan horizontal et la direction du sud (en degrés),

- $\gamma(t)$, hauteur du soleil par rapport au plan horizontal (en degrés),

- $I_{Dn}(t)$, intensité du rayonnement solaire direct, mesurée normale aux rayons incidents (en W/m²),

On rappelle que θ est l'orientation de la baie telle que définie au §3.1.5.1.

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- $\omega(t)$, angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

- $$\omega(t) = \mathrm{Min}\left[90; \mathrm{acos}\left(\cos\left(\gamma(t)\right).\cos(\Psi(t) - \theta)\right)\right] \quad \text{(Formule 203) ;}$$

- $Drp(t)$, flux solaire direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en W/m²) :

$$Drp(t) = I_{Dn}(t).\cos(\omega(t)) \quad \text{(Formule 204) ;}$$

- $\eta(t)$, angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$\eta(t) = arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad \text{(Formule 205) ;}$$

- *Drp*(t)* le flux solaire direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en W/m²) :

$$Drp^*(t) = \tau_{e,dir-h}(\eta(t)).Drp(t) \quad \text{(Formule 206) ;}$$

où $\tau_{e,dir-h}(\eta(t))$ est le facteur de transmission solaire équivalent du brise-soleil considéré pour un rayonnement incident direct, déterminé à partir du Tableau 34.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement direct du soleil est le suivant :

$$F^{fs}_{bati\_dir\_BS} = \frac{\sum_{t=t1}^{t2} Drp^*(t)}{\sum_{t=t1}^{t2} Drp(t)} \quad \text{(Formule 207) ;}$$

Les bornes t1 et t2 sont à adapter en fonction des conditions de calcul considérées à partir du tableau suivant (exprimés en heures annuelles, de 0 à 8 760 h) :

Tableau 35 : Bornes d'intégration pour le calcul du coefficient de correction lié au brise-soleil à lames fixes inclinées, dans le cas du rayonnement direct du soleil

Conditions	t1 [h]	t2 [h]
Cch	7 297	2 880
Cclim	1	8 760
E	3 625	5 832

Note : *pour les conditions Cch, l'intégration en période de chauffage seule se fait sur l'union de deux intervalles : de janvier à fin avril d'une part (t1 = 1, t2 = 2 880) et de novembre à fin décembre d'autre part (t1 = 7 297, t2 = 8 760)*

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction du rayonnement diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F^{fs}_{bati\_dif\_BS} = \frac{R^{fs}_{dif} \cdot \tau_{e,dif-ciel-h} + R^{fs}_{ref} \cdot \tau_{e,ref-sol-h}}{R^{fs}_{dif} + R^{fs}_{ref}} \qquad \text{(Formule 208) ;}$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau 36 : Part des rayonnements diffus du ciel R^{fs}_{dif} et réfléchi par le sol R^{fs}_{ref} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

	Condition Cclim / Cch		Condition E	
Orientation	$R^{fs,C}_{dif}$	$R^{fs,C}_{ref}$	$R^{fs,E}_{dif}$	$R^{fs,E}_{ref}$
Sud (θ = 0°)	0,30	0,15	0,40	0,20
Ouest (θ = 90°)	0,40	0,15	0,35	0,20
Nord (θ = 180°)	0,65	0,30	0,60	0,30
Est (θ = 270°)	0,40	0,20	0,40	0,20

- **Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :**

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$F^{fs,Cclim}_{bati\_dir} = F^{fs,Cclim}_{bati\_dir(encadrement)} \times F^{fs,Cclim}_{bati\_dir\_BS}$$

$$F^{fs,Cch}_{bati\_dir} = F^{fs,Cch}_{bati\_dir(encadrement)} \times F^{fs,Cch}_{bati\_dir\_BS}$$

$$F^{fs,E}_{bati\_dir} = F^{fs,E}_{bati\_dir(encadrement)} \times F^{fs,E}_{bati\_dir\_BS}$$

$$F^{fs}_{bati\_dif} = F^{fs}_{bati\_dif(encadrement)} \times F^{fs}_{bati\_dif\_BS} \qquad \text{(Formule 209) ;}$$

Où les coefficients dus à l'encadrement de la paroi vitrée $F^{fs,Cclim}_{bati\_dir(encadrement)}$, $F^{fs,Cch}_{bati\_dir(encadrement)}$, $F^{fs,E}_{bati\_dir(encadrement)}$ et $F^{fs}_{bati\_dif(encadrement)}$ sont déterminés pour la baie sans brise-soleil, à partir du Tableau 44 et du Tableau 45.

- **Application à une configuration type :**

Des résultats finaux de coefficients de correction sont donnés pour une configuration type de brise-soleil à lames fixes inclinées, en fonction du Ks de l'encadrement de la baie.

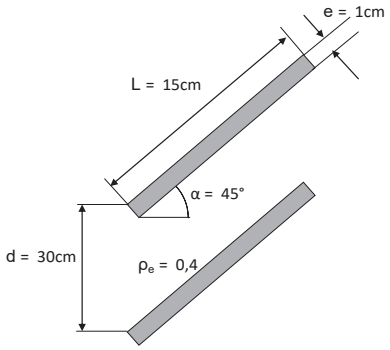


Figure 106 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques énergétiques suivantes :

Tableau 37 : Résultats d'application de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

	$T_{e,dir-h}$ (η)							$T_{e,dif-ciel-h}$	$T_{e,ref-sol-h}$
η	*0*	*15*	*30*	*45*	*60*	*75*	*90*	-	-
Valeur	0,67	0,58	0,47	0,33	0,09	0,05	0,00	0,42	0,79

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction aboutit aux résultats suivants :

Tableau 38 : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F^{fs}_{bati\_dir}$ et diffus (ciel et sol) $F^{fs}_{bati\_dif}$

$F^{fs}_{bati\_dir}$				
Orientation de la baie	*Conditions*	K_S		
		1,5 ou moins	*7*	*25 ou plus*
Sud (θ=0°)	C clim	0,15	0,25	0,25
	C ch	0,20	0,35	0,35
	E	0,05	0,05	0,10
Est/ouest (θ=270°/90°)	C et E	0,20	0,30	0,35
Nord (θ=180°)	C et E	0,05	0,15	0,20
$F^{fs}_{bati\_dif}$				
Toutes	C et E	0,30	0,45	0,50

3.3.2.3.3 *Impact de l'angle d'incidence variable sur le vitrage*

Les valeurs des coefficients de prise en compte de l'impact de l'incidence variable pour le rayonnement direct du soleil ($F^{fs,C}_{riv\_dir}$ et $F^{fs,E}_{riv\_dir}$) et diffus du ciel et du sol ($F^{fs}_{riv\_dif}$) sur le vitrage sont données dans le tableau suivant :

Tableau 39 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F^{fs,C}_{riv\_dir}$, $F^{fs,E}_{riv\_dir}$ et $F^{fs}_{riv\_dif}$

		$F^{fs,C}_{riv\_dir}$		$F^{fs,E}_{riv\_dir}$	$F^{fs}_{riv\_dif}$
		Cch	*Cclim*		
Paroi vitrée proche du nu intérieur (K_s < 1,7) et/ou avec protection mobile extérieure en place et/ou avec surplombs, masque à projection ou brise-soleil à lames inclinées fixes		1	1	1	1
Autres cas	Inclinaison proche de la verticale (60°<β≤90°) Orientation proche du sud (θ<30° ou θ>330°)	1	0,95	0,9	0,95
	Autres inclinaisons et/ou orientations	0,95		0,95	

3.3.3 METHODE GENERALE DE PRISE EN COMPTE DU FACTEUR DE TRANSMISSION LUMINEUSE TL_W DE LA PAROI VITREE

Dans le cadre des facteurs de transmission lumineuse, les normes listées au §. 3.1.4 s'articulent de la manière suivante :

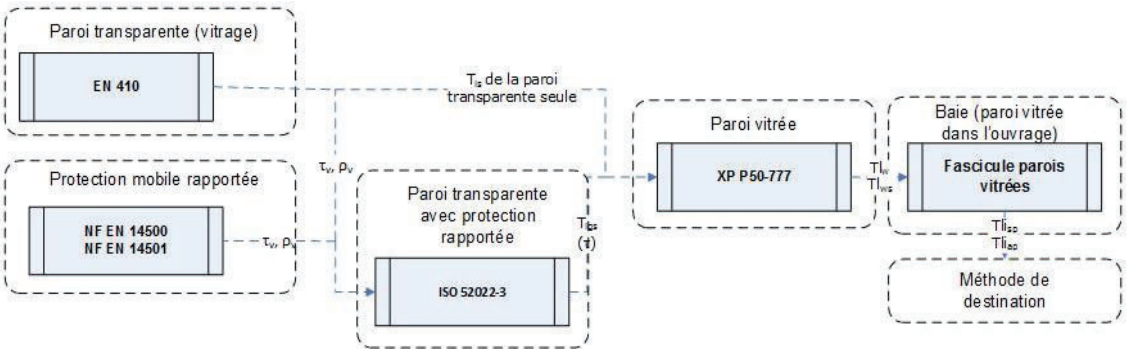


Figure 107 : Communications entre les textes normatifs dans le cadre des propriétés lumineuses

Les corrections appliquées sont les suivantes :

- Correctif pour l'impact de l'intégration à l'ouvrage $\mathbf{F^{fl}_{bâti}}$: contour de la baie, ainsi que les éventuels masques proches ont pour effet de réduire l'éclairement au niveau du plan intérieur de la baie.

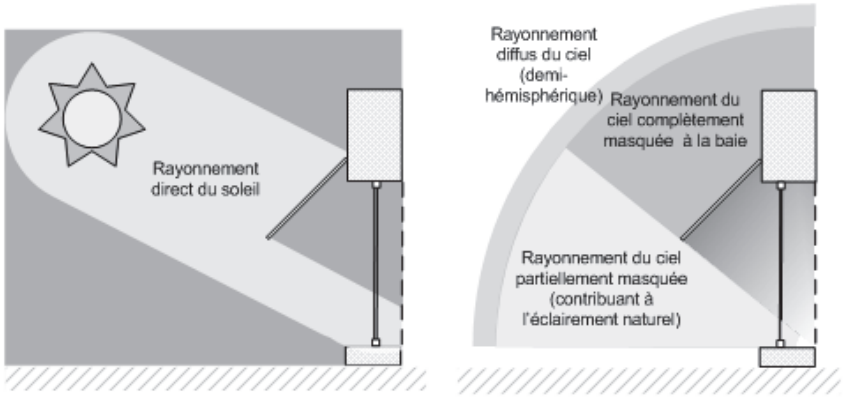


Figure 108 : Réduction d'éclairement liée à un masque à projection et à l'ouvrage pour les rayonnements du soleil et du ciel

- Correctif pour l'impact de l'incidence variable de l'éclairement provenant du soleil, du ciel et du sol sur le vitrage: F^{fl}_{riv}

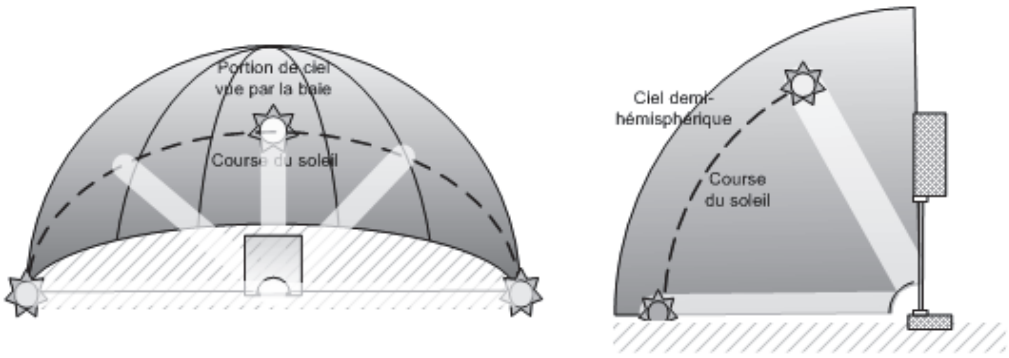


Figure 109 : Variations de l'angle d'incidence sur le vitrage pour une baie verticale orientée sud

Il convient de considérer cette distinction comme artificielle. En conséquence, le correctif dû à l'intégration dans l'ouvrage a un effet sélectif sur le rayonnement atteignant le vitrage. De fait, les rayonnements avec des angles d'incidence les plus éloignés de la normale, donc les plus sensibles à ce paramètre, seront arrêtés par les masques générés par l'ouvrage. Dès lors, le correctif dû à l'angle d'incidence s'appliquera uniquement aux rayonnements atteignant la vitre avec un angle proche de la normale donc peu sensible à ce paramètre. Il en ressort que, plus le masque est sélectif, plus le correctif sur l'angle d'incidence est proche de 1.

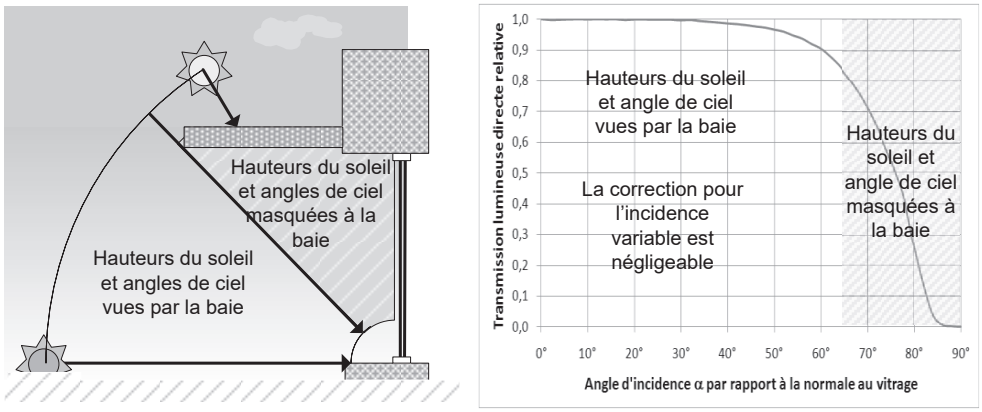


Figure110 : Exemple d'effet sélectif pour les masques liés à l'ouvrage sur les plages de variations de l'incidence sur le vitrage (hauteur du soleil seule)

3.3.3.1 *Formules générales*

3.3.3.1.1 *Paroi transparente ou translucide sans protection rapportée en place*

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 40 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants sans protection rapportée

Incidence	*Composante (à l'intérieur)*	*Résultat de l'application de la méthode*
Toutes incidences	**Global**	$Tli_{sp,b}$
	Diffusé	$Tlid_{sp,b}$

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchie par le sol) :

$Tli_{sp,b} = Tld_{sp,b} = Tlref_{sp,b}$

De même la part d'éclairement à incidence directe transmise sous forme diffuse est identique à la part d'éclairement réfléchi par le sol, transmise sous forme diffuse :

$Tlid_{sp,b} = Tlrefd_{sp,b}$

A partir des données issues des normes, les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$\mathrm{T}li_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl}.F^{fl}{}_{bati\_dir}.F^{fl}{}_{riv\_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}).F^{fl}{}_{bati\_dif}.F^{fl}{}_{riv\_dif}\right) \times \mathrm{T}L_{\mathrm{w}} \qquad \text{(Formule 210) ;}$$

$$\mathrm{T}lid_{sp,b} = \left(R_{dir}^{fl}.F^{fl}{}_{bati\_dir}.F^{fl}{}_{riv\_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}).F^{fl}{}_{bati\_dif}.F^{fl}{}_{riv\_dif}\right) \times \mathrm{T}L_{\mathrm{w\_dif}} \qquad \text{(Formule 211) ;}$$

Où :

- $\mathbf{F^{fl}_{bati\_dir}}$ **et** $\mathbf{F^{fl}_{bati\_dif}}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2 ;
- $\mathbf{F^{fl}_{riv\_dir}}$ **et** $\mathbf{F^{fl}_{riv\_dif}}$**,** sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3 ;
- $\mathbf{R^{fl}_{dir}}$ est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 43 (§3.3.3.2.1).

3.3.3.1.2 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée autre qu'à lames inclinées en place*

L'application de la méthode conduit aux résultats suivants :

Tableau 41 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée autres qu'à lames inclinées en place

Incidence	*Composante (à l'intérieur)*	*Résultat de l'application de la méthode*
Toutes incidences	**Global**	$Tli_{ap,b}$
	Diffusé	$Tlid_{ap,b}$

Note : dans ce cas de figure, l'hypothèse de simplification admise est que la valeur du facteur de transmission lumineuse est indépendante de la nature du rayonnement (directe, diffuse ou réfléchie par le sol). De ce fait, une unique valeur est nécessaire :

$Tli_{ap\_dir,b} = Tld_{ap\_dif,b} = Tld_{ap\_ref,b} = Tli_{ap,b}$

De même la part du rayonnement à incidence directe transmise sous forme diffuse est considérée égale à la part du rayonnement à incidence réfléchie par le sol transmise sous forme diffuse :

$Tlid_{ap\_dir,b} = Tlid_{ap\_ref,b}$

Pour la baie avec protection rapportée en place, la formule générale d'application pour le facteur de transmission lumineuse est la suivante :

$$\mathrm{T}li_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl}.F^{fl}{}_{bati\_dir}.F^{fl}{}_{riv\_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}).F^{fl}{}_{bati\_dif}.F^{fl}{}_{riv\_dif}\right) \times \mathrm{T}L_{\mathrm{ws}} \qquad \text{(Formule 212) ;}$$

$$\mathrm{T}lid_{ap,b} = \left(R_{dir}^{fl}.F^{fl}{}_{bati\_dir}.F^{fl}{}_{riv\_dir} + (1 - R_{dir}^{fl}).F^{fl}{}_{bati\_dif}.F^{fl}{}_{riv\_dif}\right) \times \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_dif}} \qquad \text{(Formule 213) ;}$$

Où :

- $\mathbf{F^{fl}_{bati\_dir}}$ **et** $\mathbf{F^{fl}_{bati\_dif}}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2.
- $\mathbf{F^{fl}_{riv\_dir}}$ **et** $\mathbf{F^{fl}_{riv\_dif}}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3.
- $\mathbf{R^{fl}_{dir}}$ est la part annuelle de rayonnement d'incidence directe dans le rayonnement incident global de la baie, déterminé par interpolation entre les valeurs du Tableau 43 (§3.3.3.2.1).

3.3.3.1.3 *Paroi transparente ou translucide avec protection rapportée à lames inclinées en place*

Pour une protection à lames, on opère une distinction sur l'incidence du rayonnement.

Les données de sortie se résument donc au tableau ci-dessous :

Tableau 42 : Sorties des facteurs de transmission lumineuse pour les cas courants avec protection rapportée à lames inclinées en place

Incidence	*Composante*	*Résultat de l'application de la méthode*
Directe quelconque	**Global**	$Tli_{ap\_dir,b}(\gamma',\alpha)$
	Diffusé	$Tlid_{ap\_dir,b}(\gamma',\alpha)$
Diffuse	**Global**	$Tld_{ap\_dif,b}(\alpha)$
Réfléchie	**Global**	$Tld_{ap\_ref,b}(\alpha)$
	Diffusé	$Tlid_{ap\_ref,b}(\alpha)$

Note : les valeurs sont déterminées pour γ' variant de 0° à 75° par pas de 15° (soit 6 valeurs), et α variant de 0° à 90° par pas de 15° (soit 7 valeurs).

Pour la baie avec protection rapportée en place, les résultats sont calculés de la manière suivante (avec $\gamma' = \eta$) :

$$\begin{bmatrix} \mathrm{T}li_{\mathrm{ap\_dir,b}}(\gamma',\alpha) \\ \mathrm{T}lid_{\mathrm{ap\_dir,b}}(\gamma',\alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}{}_{bati\_dir} \times F^{fl}{}_{riv\_dir} \times \begin{bmatrix} \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_dir}}(\eta,\alpha) \\ \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_dir,dif}}(\eta,\alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 214) ;}$$

$$\begin{bmatrix} \mathrm{T}ld_{\mathrm{ap\_dif,b}}(\alpha) \\ \mathrm{T}ld_{\mathrm{ap\_ref,b}}(\alpha) \\ \mathrm{T}lid_{\mathrm{ap\_ref,b}}(\alpha) \end{bmatrix} = F^{fl}{}_{bati\_dif} \times F^{fl}{}_{riv\_dif} \times \begin{bmatrix} \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_dif}}(\alpha) \\ \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_ref}}(\alpha) \\ \mathrm{T}L_{\mathrm{ws\_ref,dif}}(\alpha) \end{bmatrix} \quad \text{(Formule 215) ;}$$

Où :

- $F^{fl}{}_{bati\_dir}$ **et** $F^{fl}{}_{bati\_dif}$ sont les coefficients de correction associés à l'intégration à l'ouvrage, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.2 ;
- $F^{fl}{}_{riv\_dir}$ **et** $F^{fl}{}_{riv\_dif}$, sont les coefficients de correction pour la prise en compte de l'incidence variable de l'éclairement incident direct et diffus, calculés selon la procédure décrite au §3.3.3.2.3.

3.3.3.2 *Coefficients de correction*

Le présent chapitre décrit les méthodes de détermination des coefficients de correction des facteurs de transmission lumineuse pour l'intégration à l'ouvrage et pour la variation de l'angle d'incidence du rayonnement.

La méthode distingue les coefficients pour l'éclairement direct provenant du soleil et diffus provenant du ciel et du sol. Ainsi, la première partie du chapitre est consacrée aux poids des éclairements directs du soleil et diffus sur une année, permettant d'appliquer ces deux coefficients dans les formules générales.

Par souci de simplification, il n'est pas estimé de coefficient de correction pour l'éclairement réfléchi par le sol, étant donné la faible contribution de ce dernier à l'éclairement global.

Dans l'ensemble des tableaux du présent sous-chapitre, les interpolations linéaires entre plusieurs valeurs sont possibles, lorsque les entrées des tableaux sont des valeurs numériques (y compris pour les orientations et inclinaisons). Les extrapolations au-delà des bornes des entrées des tableaux ne sont pas permises : on retient alors la valeur du tableau correspondant à la borne considérée.

3.3.3.2.1 *Distinction entre éclairements direct du soleil et diffus du ciel et du sol*

Soient les pourcentages d'éclairement direct du soleil $\mathbf{R^{fl}_{dir}}$ pour les couples d'inclinaisons/orientations ci-dessous :

Tableau 43 : Part du rayonnement total sur la baie en incidence directe, noté R^{fl}_{dir}

Inclinaison de la paroi	Orientation de la paroi	R^{fl}_{dir}
Vertical (β = 90°)	Sud (θ =0°)	0,50
	Est/ouest (θ=270°/90°)	0,40
	Nord (θ=180°)	0,05
Inclinée (β = 45°)	Sud (θ =0°)	0,60
	Est/ouest (θ=270°/90°)	0,50
	Nord (θ=180°)	0,25
Horizontal (β = 0°)		0,50

3.3.3.2.2 *Prise en compte de l'intégration à l'ouvrage*

La prise en compte de l'intégration à l'ouvrage intervient dans la méthode de calcul de destination, au travers d'une description de masques proches. Certains cas de figure peuvent être exclus de cette description telles les protections à projection et les brise-soleil fixes.

On introduit un coefficient de forme K caractérisant la baie[11] :

$$K = \frac{L.H}{e.(L+H)}$$ (Formule 216) ;

Où :

[11] Note : *le facteur K est indépendant de la position de la paroi vitrée dans la baie, au nu intérieur ou extérieur*.

- e est l'épaisseur de la paroi opaque sur laquelle est située la baie, isolation comprise, (distance entre le plan intérieur du mur et le plan extérieur du mur),
- L et H sont les dimensions de la baie, telles que définies en Figure 111.

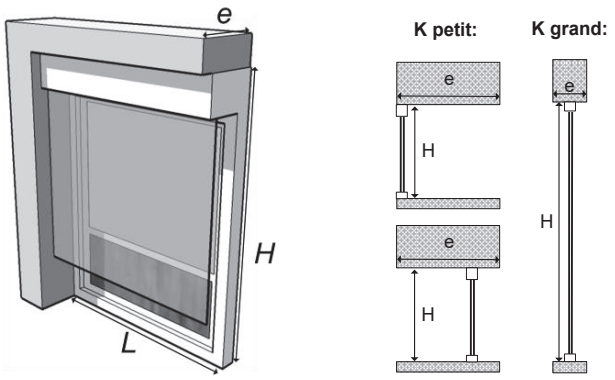


Figure 111 : Prise en compte du contour de la baie sur le facteur de transmission lumineuse

Baie d'inclinaison quelconque sans masques proches de conception (contour de la baie seulement)

Le contour de la baie a pour effet de réduire la contribution de la baie à l'éclairement naturel intérieur. L'impact est plus ou moins grand selon les dimensions de la baie et l'épaisseur de la paroi opaque

Si e < 5 cm, l'impact du contour est négligé : $F^{fl}_{bati\_dir}$ **= 1** et $F^{fl}_{bati\_dif}$ **=1**. Sinon, le coefficient de correction pour l'éclairement direct du soleil $F^{fl}_{bati\_dir}$ est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau 44 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement direct (soleil) $F^{fl}_{bati\_dir}$ selon la valeur de K

Orientation et inclinaison de la paroi vitrée		Coefficient caractéristique K		
		1 (ou moins)	2	5 (ou plus)
Sud (θ = 0°)	Vertical (β = 90°)	0,45	0,70	0,85
	Inclinée (β = 45°)	0,65	0,80	0,95
Est/ouest (θ = 270°/90°)	Vertical (β = 90°)	0,55	0,75	0,90
	Inclinée (β = 45°)	0,60	0,75	0,90
Nord (θ = 180°)	Vertical (β = 90°)	0,15	0,30	0,60
	Inclinée (β = 45°)	0,15	0,40	0,70
Horizontal (β = 0°)		0,50	0,70	0,90

Le coefficient de correction pour l'éclairement diffus est obtenu à partir du tableau suivant :

Tableau 45 : Valeurs du coefficient de prise en compte du tableau de la baie pour le rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{bati\_dif}$

Inclinaison de la paroi vitrée	Coefficient caractéristique K		
	1 (ou moins)	2	5 (ou plus)
Vertical (β = 90°)	0,50	0,70	0,85
Inclinée (β = 45°)	0,50	0,75	0,90
Horizontal (β = 0°)	0,50	0,70	0,85

Baie verticale avec débords latéraux et/ou surplombs

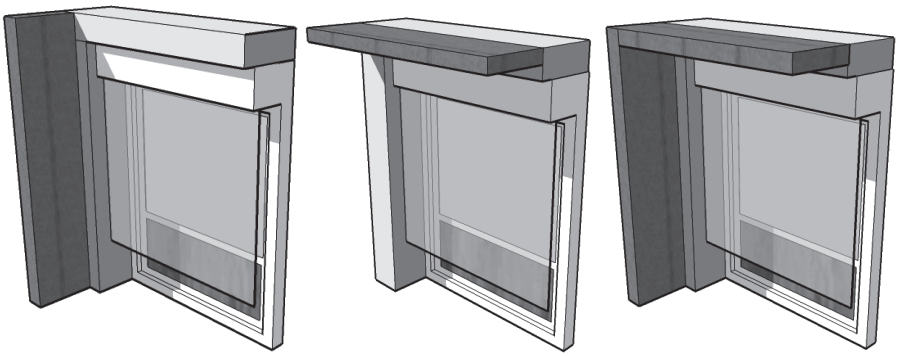


Figure 112 : Masques proches de type débords latéraux et surplombs

La prise en compte des masques proches de type débords latéraux et surplombs des baies verticales relève directement de la méthode de calcul de destination. Cette prise en compte passe par des masques proches verticaux et horizontaux équivalents, englobant l'impact du contour des baies.

Dans le cadre du facteur de transmission lumineuse, ce cas de figure se traduit par :

$$F^{fl}_{bati\_dir} = F^{fl}_{bati\_dif} = 1$$

Baie verticale avec masque à projection fixe inclinée

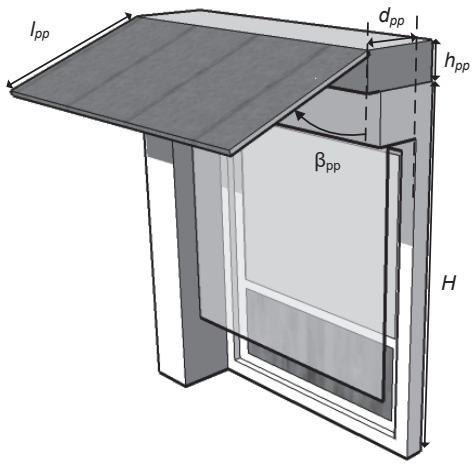


Figure 113 : Masque à projection fixe inclinée

Pour le rayonnement solaire direct, on introduit un coefficient caractéristique des dimensions du masque à projection:

$$r_{pp} = \frac{l_{pp}}{H}$$ (Formule 217) ;

Où :

- l_{pp} est la longueur du masque à projection,
- H est la hauteur de la baie, telle que définie en Figure 113.

On introduit β_{pp} l'angle entre la paroi verticale et le plan du masque à projection, τ le facteur de transmission global du matériau constituant ce dernier, et C_o le coefficient d'ouverture du masque, équivalent à celui d'un masque à projection, tel que défini dans la norme NF EN 14500. Les coefficients de correction sont définis dans les tableaux suivants.

Pour l'éclairement direct du soleil :

Tableau 46 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement direct (soleil) $F^{fl}_{bati\_dir}$

r_{pp}	*K*	*Orientation de la baie*	*β_{pp} = 45°*			*β_{pp} = 90°*		
			τ_{pp}=0	τ_{pp}=0,2 C_{opp}=0	τ_{pp}=0,2 C_{opp}=0,2	τ_{pp} =0	τ_{pp}=0,2 C_{opp}=0	τ_{pp}=0,2 C_{opp}=0,2
0	1 ou moins	Sud (θ = 0°)	0,45					
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,55					
		Nord (θ = 180°)	0,15					
	2	Sud (θ = 0°)	0,70					
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,75					
		Nord (θ = 180°)	0,30					
	5 ou plus	Sud (θ = 0°)	0,85					
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,90					
		Nord (θ = 180°)	0,60					
0,5	1 ou moins	Sud (θ = 0°)	0,25	0,25	0,30	0,40	0,40	0,35
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,35	0,35	0,35	0,50	0,50	0,50
		Nord (θ = 180°)	0,10	0,10	0,10	0,15	0,15	0,10
	2	Sud (θ = 0°)	0,30	0,30	0,35	0,50	0,50	0,50
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,40	0,40	0,45	0,60	0,60	0,60
		Nord (θ = 180°)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,25
	5 ou plus	Sud (θ = 0°)	0,40	0,40	0,40	0,60	0,60	0,55
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,45	0,45	0,50	0,70	0,70	0,65
		Nord (θ = 180°)	0,35	0,35	0,35	0,55	0,55	0,45
1	1 ou moins	Sud (θ = 0°)	0,05	0,05	0,10	0,35	0,35	0,25
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,10	0,10	0,15	0,40	0,40	0,35
		Nord (θ = 180°)	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,05
	2	Sud (θ = 0°)	0,10	0,10	0,15	0,40	0,40	0,30
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,10	0,10	0,15	0,50	0,50	0,40
		Nord (θ = 180°)	0,15	0,10	0,15	0,20	0,20	0,20
	5 ou plus	Sud (θ = 0°)	0,10	0,15	0,15	0,50	0,50	0,45
		Est/ouest (θ = 270°/90°)	0,15	0,15	0,20	0,60	0,60	0,55
		Nord (θ = 180°)	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30	0,30

Pour l'éclairement diffus du ciel et du sol :

Tableau 47 : Valeurs des coefficients de correction dans le cas d'un masque à projection pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{bati\_dif}$

r_{pp}	K	$\beta = 45°$	$\beta = 90°$
0	1 ou moins	0,50	
	2	0,70	
	5 ou plus	0,85	
0,5	1 ou moins	0,30	0,45
	2	0,40	0,55
	5 ou plus	0,50	0,65
1	1 ou moins	0,15	0,35
	2	0,20	0,50
	5 ou plus	0,30	0,65

Baie verticale avec brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées

A défaut de prise en compte dans la méthode de calcul de destination, le cas de figure des baies avec brise-soleil à lames fixes inclinées est pris en compte au travers d'une méthode simplifiée. Le coefficient intègre également la correction associée à l'épaisseur de la paroi opaque.

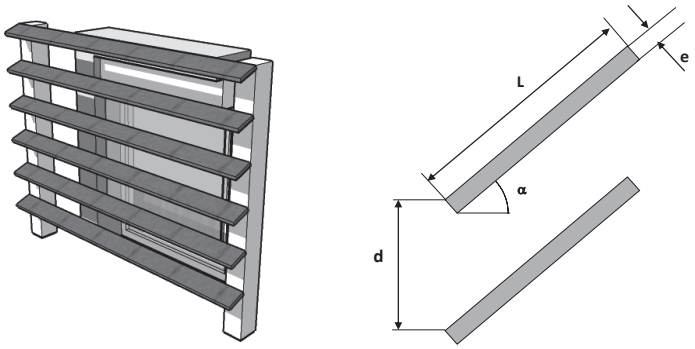


Figure 114 : Brise-soleil rapporté à lames fixes inclinées en façade

La méthode simplifiée consiste à assimiler le brise-soleil à une protection rapportée à lames minces équivalente. Cette méthode n'est applicable que pour des parois verticales et pour des produits dont les lames sont assimilables à des parallélépipèdes, dont l'épaisseur *e* est inférieure à 10 % de la largeur *L* (soit *e < 0,1 x L*). Les coefficients de correction calculés selon cette méthode doivent être arrondis à 0,05 près (exemple 0,21=0,20 et 0,23 = 0,27 =0,25),

- **Détermination des caratéristiques de transmission équivalentes du brise-soleil à lames inclinées**

Les caractéristiques de transmission lumineuse équivalente pour les éclairements directs, diffus du ciel et réfléchi par le sol se calculent selon l'Annexe A de la norme XP P50-777, pour l'angle d'inclinaison α propre au brise-soleil étudié et pour 7 angles de profils η (de 0° à 90°) du rayonnement direct.

Tableau 48 : Récapitulatif des caractéristiques de transmission lumineuse du brise-soleil à lames fixes inclinées calculées selon l'annexe A de la norme XP P-50-777

	$\tau_{v,dir-h}$ (η)							$\tau_{v,dif-ciel-h}$	$\tau_{v,ref-sol-h}$
η	*0*	*15*	*30*	*45*	*60*	*75*	*90*	-	-

Le calcul est mené pour les caractéristiques de réflexion énergétique des éléments du brise-soleil, et pour le ratio géométrique r = d/L propre au brise-soleil étudié. La transmission équivalente est conventionnellement nulle pour un angle de profil de 90°. Pour des angles de profils compris entre les valeurs de η du Tableau 48, le $\tau_{v,dir-h}$ (η) se détermine par interpolation linéaire.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairement direct du soleil :**

Le calcul d'un coefficient de correction applicable au facteur de transmission lumineux de la baie implique de réaliser un calcul de l'éclairement global transmis au travers des lames du brise-soleil, au pas de temps horaire *t* et d'intégrer ensuite ces résultats sur l'ensemble de la période considérée *[t1 ;t2],* ici l'année entière. Le calcul est mené à partir de données météorologique de la zone climatique H2b (Tours) au sens du chapitre IV de l'annexe à l'article R. 172- du code de la construction et de l'habitation.

Pour une heure donnée, dans la zone climatique considérée, il est nécessaire de connaitre :

- Ψ(t), angle entre la direction du soleil projetée dans le plan horizontal et la direction du sud (en degrés),
- γ(t), hauteur du soleil par rapport au plan horizontal (en degrés),
- E_{Dn}(t), intensité du rayonnement lumineux direct du soleil, mesurée normale aux rayons incidents (en Lux),

On rappelle que θ est l'orientation de la baie telle que définie au §3.1.5.1

On réalise alors pour chacune de ces heures les calculs des grandeurs suivantes :

- ω(t), angle entre le rayon incident et la normale à la paroi verticale considérée (en degrés),

$$\omega(t) = \mathrm{Min}\left[90; \mathrm{acos}\left(\cos\left(\gamma(t)\right).\cos(\Psi(t) - \theta)\right)\right] \quad \text{(Formule 218) ;}$$

- E
rp(t), flux lumineux direct incident sur le plan extérieur du brise-soleil (en Lux) :

- η
(
t), angle entre la projection du rayon incident sur le plan vertical perpendiculaire à la paroi et la normale à la paroi considérée (angle de profil, en degrés) :

$$Erp(t) = E_{Dn}(t).\cos(\theta(t)) \quad \text{(Formule 219) ;}$$

$$\eta(t) = arctan\left(\frac{\tan(\gamma(t))}{\cos(\Psi(t) - \theta)}\right) \quad \text{(Formule 220) ;}$$

- *Erp*(t)* le flux lumineux direct transmis par le brise-soleil sur la paroi considérée à une heure donnée t (en Lux) :

$$Erp^{*}(t) = \tau_{v,dir-h}(\eta(t)).Erp(t) \quad \text{(Formule 221) ;}$$

O

ù $\tau_{v,dir-h}(\eta(t))$ est le facteur de transmission lumineuse équivalent du brise-soleil pour un éclairement incident direct, déterminé à partir du Tableau 48.

Au final, le coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairement direct du soleil est le suivant :

$$F^{fl}_{bati\_dir\_BS} = \frac{\sum_{t=t1}^{t2} Erp^{*}(t)}{\sum_{t=t1}^{t2} Erp(t)} \quad \text{(Formule 222) ;}$$

L'intégration étant réalisé sur une année entière, t1 =1 h et t2 = 8 760 h.

- **Calcul du coefficient de correction du brise-soleil seul pour l'éclairement diffus du ciel et du sol :**

Le facteur de réduction de l'éclairement diffus hémisphérique du brise-soleil seul se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$F^{fl}_{bati\_dif\_BS} = \frac{R^{fl}_{dif}.\tau_{v,dif-ciel-h} + R^{fl}_{ref}.\tau_{v,ref-sol-h}}{R^{fl}_{dif} + R^{fl}_{ref}} \quad \text{(Formule 223) ;}$$

Les ratios d'énergie correspondant aux deux types de rayonnement diffus sont déterminés en fonction de l'orientation de la paroi et des conditions de calcul à l'aide du tableau suivant :

Tableau 49 : part des rayonnements diffus du ciel R^{fs}_{dif} et réfléchi par le sol R^{fs}_{ref} atteignant une surface selon son inclinaison et son orientation

Orientation	R^{fl}_{dif}	R^{fl}_{ref}
Sud (θ = 0°)	0,30	0,20
Ouest (θ = 90°)	0,40	0,20
Nord (θ = 180°)	0,65	0,30
Est (θ = 270°)	0,40	0,20

Coefficient de correction de la baie avec brise-soleil pour le rayonnement diffus du ciel et du sol :

Le coefficient de correction de la baie avec brise-soleil doit également prendre en compte l'impact éventuel de l'encadrement. Par hypothèse simplificatrice, on considère que ces deux impacts se cumulent :

$$F^{fl}_{bati\_dir} = F^{fl}_{bati\_dir(encadrement)} \times F^{fl}_{bati\_dir\_BS}$$
$$F^{fl}_{bati\_dif} = F^{fl}_{bati\_dif(encadrement)} \times F^{fl}_{bati\_dif\_BS} \quad \text{(Formule 224) ;}$$

Où les coefficients dus à l'encadrement de la paroi vitrée $F^{fl}_{bati\_dir(encadrement)}$ et $F^{fl}_{bati\_dif(encadrement)}$ sont déterminés pour la baie sans brise-soleil, à partir du Tableau 44 et du Tableau 45.

- **Application à une configuration type :**

Des résultats d'application de la méthode simplifiée décrite ci-dessus sont donnés pour une configuration type de brise-soleil à lames fixes inclinées, en fonction du K de l'encadrement de la baie.

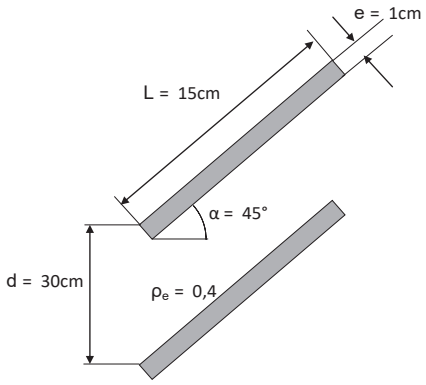


Figure 115 : Caractéristiques types de brise-soleil à lames fixes inclinées

L'application de la méthode de la norme XP P50-777 fournit les caractéristiques lumineuses du brise-soleil suivantes :

Tableau 50 : Résultats d'application en transmission lumineuse de la méthode de la norme XP P50-777 pour un brise-soleil avec les caractéristiques types décrites ci-dessus

	$T_{v,dir-h}(\eta)$							$T_{v,dif-ciel-h}$	$T_{v,ref-sol-h}$
η	*0*	*15*	*30*	*45*	*60*	*75*	*90*	-	-
Valeur	0,67	0,58	0,47	0,33	0,09	0,05	0,00	0,42	0,79

Sur cette base, le calcul des coefficients de correction du facteur de transmission lumineuse pour l'intégration au bâti aboutit aux résultats suivants :

Tableau 51 : Valeurs des coefficients de correction d'un brise-soleil à lames fixes inclinées pour un rayonnement direct (soleil) $F^{fl}_{bati\_dir}$ et pour un rayonnement diffus (ciel et sol) $F^{fl}_{bati\_dif}$

$F^{fl}_{bati\_dir}$			
Orientation de la baie	**K**		
	1 (ou moins)	*2*	*5 (ou plus)*
Sud (α = 0°)	0,10	0,15	0,20
Est/ouest (α = 270°/90°)	0,20	0,25	0,30
Nord (α = 180°)	0,05	0,05	0,10
$F^{fl}_{bati\_dif}$			
Toute orientation	0,25	0,35	0,40

3.3.3.2.3 *Impact de l'angle d'incidence variable*

L'impact de l'incidence variable sur le vitrage est défini au travers de coefficient de correction à incidence directe du soleil ($F_{riv,dir}$), et diffuse du ciel et du sol ($F_{riv,dif}$).

Les valeurs des deux coefficients pour différentes configurations sont données ci-dessous.

Tableau 52 : Valeurs du coefficient de correction lié à l'incidence variable $F^{fl}_{riv\_dir}$ et $F^{fl}_{riv\_dif}$

	$F^{fl}_{riv\_dir}$	$F^{fl}_{riv\_dif}$
Paroi vitrée au nu intérieur avec K > 1,5 et/ou avec protection mobile extérieure en place et/ou avec surplombs, masque à projection ou brise-soleil à lames inclinées fixes	1	1
Autres cas	0,95	0,95

4. FASCICULE « PAROIS OPAQUES »

4.1 Introduction

Ce fascicule donne les méthodes de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois opaques et de leurs composants, et revoit vers les applications établies conformément aux dites méthodes.

4.1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Les caractéristiques thermiques utiles déterminées selon ce fascicule servent au calcul de la consommation d'énergie des bâtiments dans le cadre de l'application de la réglementation thermique.

4.1.2 REFERENCES NORMATIVES

Le calcul des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment s'appuie principalement sur les travaux de la normalisation européenne.

NF EN ISO 7345 Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions.

NF EN ISO 13789 Performance thermique des bâtiments – Coefficient de déperdition par transmission
– Méthode de calcul.

NF EN ISO 10456 Matériaux et produits pour le bâtiment – Propriétés hygrothermiques – Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.

NF EN ISO 6946 Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.

NF EN ISO 13370 Performance thermique des bâtiments – Transfert de chaleur par le sol – Méthodes de calcul.

NF EN ISO 10211 Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles
– Calculs détaillés.

NF EN ISO 8990 Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire – Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée.

4.1.3 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

4.1.3.1 *Définitions*

Dans le présent document, les définitions de la norme NF EN ISO 7345 et les définitions suivantes s'appliquent :

– Local : un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois fixes ou mobiles ;

– Espace chauffé : local ou volume fermé chauffé à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation ;

– Dimensions intérieures : dimensions mesurées de l'intérieur des locaux déterminés selon le fascicule « Généralités » des règles Th-Bat ;

– Paroi opaque isolée : paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique U n'excède pas 0,5 W/(m^2.K) ;

– Paroi transparente ou translucide : paroi dont le facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire elle est dite opaque ;
– Paroi verticale ou horizontale : une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est supérieur ou égal à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés ;
– Plancher bas : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure ;
– Plancher intermédiaire : paroi horizontale donnant, sur ses faces inférieure et supérieure, sur des locaux chauffés ;
– Plancher haut : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure ;
– Liaisons périphériques : liaisons situées au pourtour d'une paroi donnée ;
– Liaisons intermédiaires : liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'une paroi donnée ;
– Flux thermique ϕ en W : quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps ;
– Densité surfacique (ou linéique) du flux thermique φ, en W/m^2 (ou W/m) : flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur) ;
– Conductivité thermique λ, en W/(m.K) : flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce matériau ;
– Coefficient de déperdition par transmission *H*, en W/K : flux thermique cédé par transmission entre l'espace chauffé et l'extérieur, pour une différence de température d'un kelvin entre les deux ambiances. Les températures, intérieure et extérieure, sont supposées uniformes ;
– Coefficient de transmission surfacique *U*, en W/(m^2.K) : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
– Coefficient de transmission linéique ψ, en W/(m.K) : flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
– Coefficient de transmission surfacique « équivalent » d'une paroi Ue, en W/(m².K) : coefficient de transmission surfacique tenant compte à la fois des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (vide sanitaire, sous-sol non chauffé, sol) ;
– Résistance thermique R, en (m².K)/W : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce système ;
– Résistance thermique totale RT, en (m².K)/W : somme de la résistance thermique R d'une paroi et des résistances thermiques superficielles côtés intérieur et extérieur ;
– Résistance superficielle Rs, en (m².K)/W : inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;
– Isolation répartie : isolation assurée exclusivement par l'épaisseur de la partie porteuse de la paroi (ex. :
– Blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire) ;
– Conductivité thermique « équivalente en W/(m.K) » : rapport de l'épaisseur d'une paroi sur sa résistance thermique ;
– Maçonnerie courante : maçonnerie couramment utilisée (à base de béton ou de terre cuite) de conductivité thermique équivalente $\lambda_e \geq 0,7$ W/(m.K) ;
– Couche thermiquement homogène : couche d'épaisseur constante ayant des propriétés thermiques uniformes ou considérées comme telles :
– Les couches à hétérogénéités faibles et régulières peuvent être assimilées à une

couche thermiquement homogène (ex. : murs en maçonnerie),

– Un plancher à entrevous non isolant peut être assimilé à une couche thermiquement homogène,

– Une lame d'air d'épaisseur constante est considérée comme une couche thermiquement homogène ;

– Partie courante d'une paroi : partie constituée d'une ou de plusieurs couches superposées, thermiquement homogènes ;

– Pont thermique intégré : élément intégré dans la paroi, donnant lieu à des déperditions thermiques supplémentaires par rapport à la partie courante ;

– Dimension caractéristique d'une paroi : aire de la paroi, divisée par son demi-périmètre, en mètres ;

– Epaisseur « équivalente » d'un système : épaisseur d'un matériau thermiquement homogène, ayant la même résistance thermique que ce système, en mètres ;

– Avis Technique et Document Technique d'Application : on entend par Avis Technique et Document Technique d'Application, tout avis formulé conformément à l'arrêté du 21 mars 2012 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

– Valeurs tabulées : valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,

– Valeurs par défaut : valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,

– Caractéristique thermique utile : Caractéristique thermique représentative du comportement thermique des parois, éléments ou composants, qui peut être considérée comme caractéristique de la performance de ce matériau ou de ce produit une fois incorporé dans le bâtiment et ceci durant toute la durée de vie de l'ouvrage. Par conséquent, la caractéristique thermique utile, doit être à la fois représentative de l'ensemble de la production dans l'espace et dans le temps avec la prise en compte dans la mesure du possible, des conditions moyennes d'utilisation rencontrées dans le bâtiment (mise en œuvre, température, humidité, vent, vieillissement, etc…).

– Caractéristique thermique déclarée : Caractéristique thermique établie conformément à des spécifications techniques européennes (normes harmonisées ou Documents d'Evaluation Européen) ou bien dans le cadre d'une certification. La caractéristique thermique déclarée peut être différente de la caractéristique thermique utile, notamment si les conventions servant à son élaboration, ne sont pas représentatives de celles rencontrée dans le bâtiment.

4.1.3.2 *Symboles et indices*

4.1.3.2.1 *Coefficient de transmission thermique*

Tableau 53 : Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	$W/(m^2.K)$
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
R	Résistance thermique	$m^2.K/$
A	Surface	m^2
I, L	Longueur, largeur, linéaire	m
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
ΔT	Différence de température	K
b	Coefficient de réduction de la température	-
h	Coefficient d'échange	$W/(m^2.K)$
2D,	Deux dimensions, trois dimensions	
B'	Dimension caractéristique	m
d	Épaisseur	m
v	Vitesse	m/s

Tableau 54 : Indices

e	Extérieur
i	Intérieur
s	Superficiel
t,	Total
D	Direct
S	Sol
u	Non chauffé
e	« Équivalent »
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
a	Par convection, par conduction
r	Par rayonnement
m	Moyen
p	Relatif à la paroi
g	Relatif au sol
c	Partie courante

4.1.3.2.2 ***Facteur solaire***

Tableau 55 : Nomenclature pour le facteur solaire

A_p	Coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque	-
U_{p-C}	Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminé selon les règles Th-Bat et les normes associées	$W.m^{-2}.K^{-1}$
U_{p-E}	Coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E	$W.m^{-2}.K^{-1}$
R_{se-C} R_{se-E}	Résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C	$m^2.K.W^{-1}$
R_{si-C} R_{si-E}	Résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E	$m^2.K.W^{-1}$
$U_{p-C,\ non-ventilée}$ $U_{p-E,\ non-ventilée}$	Coefficient de transfert thermique dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale non-ventilée en conditions C et E	$W.m^{-2}.K^{-1}$
R_i	Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'intérieur	$m^2.K.W^{-1}$
R_e	Résistance thermique de la partie de la paroi opaque en contact avec l'extérieur	$m^2.K.W^{-1}$
R_{la}	Résistance thermique de la lame d'air de la paroi opaque, en supposant celle-ci fermée et	$m^2.K.W^{-1}$
$U_{p-C,\ eq-très-ventilée}$ $U_{p-E,\ eq-très-ventilée}$	Coefficient de transfert thermique équivalent dans l'hypothèse d'une lame d'air horizontale très fortement ventilée en conditions C et E	$m^2.K.W^{-1}$
K_{qs}	Coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air verticale	-
H_{lA}	Hauteur de la lame d'air verticales ventilées	m
S_{EA}	Surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture de la lame d'air ventilée horizontale	m^2
$A_{e,k}$	Surface totale de la face intérieure de la partie en contact avec l'extérieur de la paroi opaque dans le cas d'une lame d'air ventilée horizontale	m^2

Les deux jeux de conditions aux limites sont distingués par les exposants suivants :

- **C :** conditions pour le calcul des consommations d'énergie, à retenir à la fois pour les locaux climatisés et non-climatisés
- **E :** conditions pour le calcul du confort thermique d'été et le dimensionnement des systèmes de refroidissement.

4.2 Caractéristiques thermiques utiles des parois opaques

Les propriétés thermiques utiles des matériaux et produits de construction servant au calcul du coefficient de transmission surfacique des parois opaques sont déterminées selon le chapitre 2 du fascicule (Matériaux).

Les propriétés thermiques utiles (R_u, U_u) des parois doivent être déterminées selon le présent fascicule (Parois opaques) à partir des propriétés thermiques utiles des matériaux et produits déterminées selon le chapitre 2.2 du fascicule (Matériaux).

4.3 Méthodes de calcul

Ce chapitre donne les méthodes de calcul du coefficient de transmission surfacique utile U_p et de la résistance thermique utile R des parois opaques.

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après est la mesure de la paroi à la boîte chaude gardée conformément à la norme NF EN ISO 8990. Toutefois, les résultats de mesure ne valent que pour l'échantillon mesuré.

La détermination du coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, fait l'objet d'un calcul spécifique détaillé aux *paragraphes 4.3.1.2.1.2* et 4.3.1.2.3

Les coffres de volets roulants installés dans la baie doivent être intégrés dans le calcul de la baie vitrée, les autres doivent être calculés comme des parois opaques. La méthode générale de calcul des coffres de volets roulants est donnée dans le fascicule Parois vitrées.

Dans le cas où une caractéristique thermique déclarée de la paroi est disponible, par référence aux normes européennes harmonisées ou aux Évaluations Techniques Européennes, se reporter au fascicule 1 (Généralités) pour la détermination de la caractéristique thermique utile correspondante.

4.3.1 METHODES GENERALES

4.3.1.1 *Résistance thermique R*

La résistance thermique R d'une paroi est l'inverse du flux thermique à travers un mètre carré de paroi pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de la paroi. R s'exprime en m^2.K/W et elle est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux constituant la paroi.

À l'exception des résistances superficielles arrondies à deux décimales, les valeurs des résistances thermiques utilisées dans les calculs intermédiaires doivent être calculées avec au moins trois décimales.

4.3.1.1.1 ***Couches thermiquement homogènes***

4.3.1.1.1.1 Couches solides

Il s'agit de couches d'épaisseur constante, à hétérogénéités faibles et régulières pouvant être assimilées à des couches homogènes.

La résistance thermique d'une couche homogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \ (Formule\ 225) \ ;$$

où

R_i est la résistance thermique de la couche *i*, en m^2.K/W ;

e_i est l'épaisseur de la couche *i*, mesurée d'après sa mise en œuvre dans la paroi, en mètres ;

λ_i est la conductivité thermique utile de la couche *i* déterminée conformément au fascicule « Matériaux », en W/m.K.

La résistance thermique d'un composant de bâtiment constitué de plusieurs couches thermiquement homogènes, superposées perpendiculaires au flux de chaleur, est la somme des résistances thermiques individuelles de chacune des couches :

$$R = \sum R_i \ (Formule\ 226).$$

4.3.1.1.1.2 Espaces d'air

Certains espaces d'air peuvent être considérés comme des couches thermiquement homogènes. Cependant, leur résistance thermique doit faire l'objet d'un calcul spécifique tenant compte des phénomènes convectifs et radiatifs.

Les espaces d'air sont traités comme des milieux ayant une « résistance thermique » parce que la transmission de chaleur par convection et par rayonnement y est à peu près proportionnelle à l'écart de température des faces qui les limitent.

Sont traitées dans ce chapitre :

1. Les lames d'air qui ont une largeur et une longueur toutes deux supérieures à 10 fois l'épaisseur mesurée dans le sens du flux de chaleur.
2. Les cavités d'air qui ont une longueur ou une largeur comparable à leur épaisseur.
3. Certains espaces non chauffés (combles perdus, garages, buanderies, etc.) lorsque leur enveloppe extérieure n'est pas isolée.

Si l'épaisseur d'une lame d'air varie, il convient d'utiliser sa valeur moyenne pour calculer sa résistance thermique.

Un traitement spécifique des espaces d'air, rencontrés dans les vitrages isolants et dans les profilés de menuiserie, est décrit dans le fascicule « Parois vitrées ».

4.3.1.1.1.2.1 Lames d'air

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lames d'air dont l'épaisseur mesurée dans la direction du flux de chaleur n'excède pas 0,3 m. Dans le cas où cette épaisseur dépasse 0,3 m, le calcul de la déperdition doit être effectué en établissant un bilan thermique (coefficient *b*) comme décrit dans le fascicule « Généralités ».

4.3.1.1.1.2.2 Lames d'air non ventilées

Une lame d'air peut être considérée comme non ventilée s'il n'y a pas de disposition spécifique pour un écoulement d'air la traversant.

Une lame d'air non séparée de l'ambiance extérieure par une couche isolante mais comportant de petites ouvertures vers l'ambiance extérieure peut aussi être considérée comme une lame d'air non ventilée, si ces ouvertures ne sont pas disposées de façon à permettre un écoulement d'air traversant et si elles ne dépassent pas :

– 500 mm^2 par mètre de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;

– 500 mm^2 par m^2 de superficie pour les lames d'air horizontales.

La résistance thermique d'une lame d'air non ventilée se calcule d'après la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (Formule\ 227) ;$$

où

R_g est la résistance thermique de la lame d'air, en $m^2.K/W$;

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule d'après le Tableau 56 :

Tableau 56 : Calcul de ha

Sens du flux de chaleur	***ha* W/(m².K)**	
	$\Delta T \leq 5$	**$\Delta T > 5$**
Horizontal	Max (1,25 ; 0,025/*d*)	Max (0,73 $(\Delta T)^{1/3}$; 0,025/*d*)
Ascendant	Max (1,95 ; 0,025/*d*)	Max (1,14 $(\Delta T)^{1/3}$; 0,025/*d*)
Descendant	Max (0,12 $d^{-0,44}$; 0,025/*d*)	Max (0,09 $(\Delta T)^{0,187}\ d^{-0,44}$; 0,025/*d*)

où

d est l'épaisseur de la lame, en mètre, dans la direction du flux de chaleur ;

ΔT est la différence de température dans la lame d'air entre les deux faces en vis-à-vis, en K ;

h_r est le coefficient de rayonnement. Il s'exprime en $W/(m^2.K)$ et se calcule comme suit :

$$h_r = E\, h_{ro} ;$$

où

E est l'émittance entre les deux surfaces limitant la lame d'air :

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (Formule\ 228) ;$$

où

ε_1 et ε_2 sont les émissivités hémisphériques (corrigées) des sur faces limitant la lame d'air. La valeur utile de l'émissivité doit tenir compte de l'effet de ternissement des sur faces et d'accumulation de poussière avec le temps. À défaut de valeurs utiles déterminées selon le présent fascicule ou données dans un document d'Avis Technique, prendre :

$$\varepsilon 1 = \varepsilon 2 = 0{,}9.$$

h_{ro} est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. *formule 10* et Tableau 59).

Des valeurs par défaut de la résistance thermique sont données au Tableau 57 pour des lames d'air non ventilées dont les émissivités des deux faces sont au moins égales à 0,8. Les valeurs de la colonne « horizontal » s'appliquent également à des flux thermiques inclinés jusqu'à ± 30 % par rapport au plan horizontal.

Tableau 57 : Valeurs de la résistance thermique R

Épaisseur de la lame d'air (mm)	Résistance thermique *R* (m^2.K)/W		
	Flux ascendant	Flux horizontal	Flux descendant
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23
Note 1 : ces valeurs correspondent à une température moyenne de la lame d'air de 10 °C. Note 2 : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.			

4.3.1.1.1.2.3 Lames d'air fortement ventilées

Il s'agit de lames d'air dont les orifices d'ouverture vers l'ambiance extérieure sont supérieures ou égales à :

– 500 mm^2 par mètre de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;

– 1 500 mm^2 par m^2 de superficie pour les lames d'air horizontales.

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air fortement ventilée s'obtient en négligeant la résistance thermique de la lame d'air et de toutes les couches situées entre la lame d'air et l'ambiance extérieure, et en appliquant une résistance thermique superficielle égale à R_{si} sur la surface intérieure de la lame d'air.

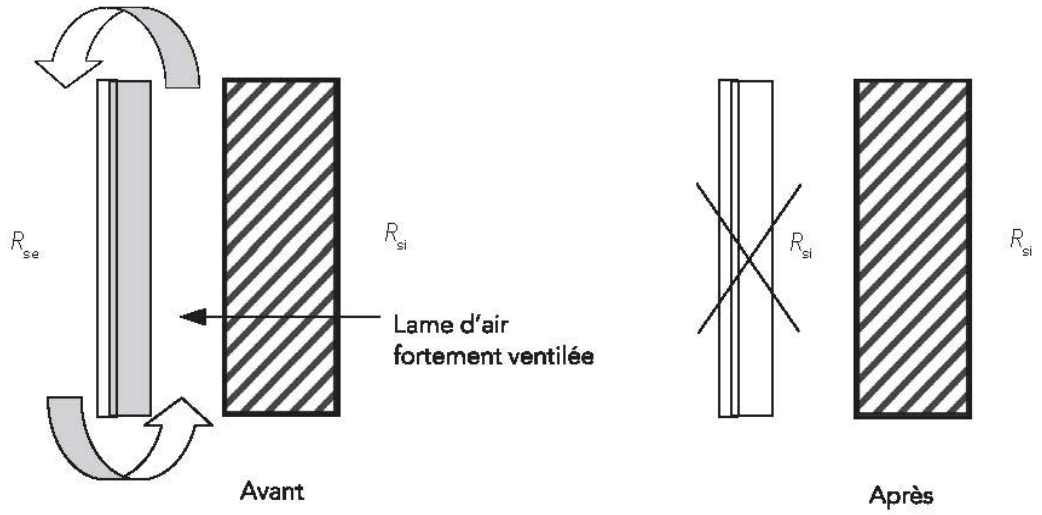


Figure 116 : Traitement des parois contenant une lame d'air fortement ventilée

4.3.1.1.1.2.4 Lmes d'air faiblement ventilées

Il s'agit de lames d'air dans lesquelles il y a un écoulement d'air limité du fait d'ouvertures communiquant avec l'ambiance extérieure, comprises dans les plages suivantes :

– > 500 mm^2 mais < 1 500 mm^2 par m de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;

– > 500 mm^2 mais < 1 500 mm^2 par m^2 de superficie pour les lames d'air horizontales.

L'effet de la ventilation de la lame d'air dépend de la taille et de la répartition des orifices de ventilation.

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air faiblement ventilée peut être calculée comme suit :

$$R_T = \frac{1\,500 - A_v}{1\,000} R_{T,n} + \frac{A_v - 500}{1\,000} R_{T,v} \; ;$$

où

$R_{T,n}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée non ventilée
(cf. *paragraphe 4.3.1.1.1.2.2* (Lames d'air non ventilées)) ;

$R_{T,v}$ est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée fortement ventilée
(cf. *paragraphe 4.3.1.1.1.2.3* (Lames d'air fortement ventilées)).

4.3.1.1.1.3 Cavités d'air

4.3.1.1.1.3.1 Cavités d'air non ventilées

Il s'agit de petits espaces d'air dont la largeur est inférieure à 10 fois l'épaisseur (*b* < 10 *d*).

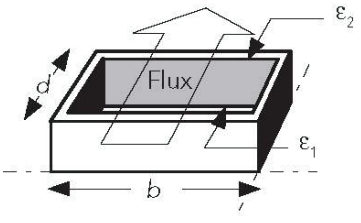


Figure 2

La résistance thermique R_g d'une cavité d'air est donnée par la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \; ;$$

avec

$$h_r = \frac{h_{ro}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b}\right)}} \quad (Formule\ 229) ;$$

où

d est l'épaisseur de la cavité, mesuré dans la direction du flux de chaleur, en mètre ;

b est la largeur de la cavité prise sur la plus petite section transversale, en mètre ;

ε_1 et ε_2 sont les émissivités hémisphériques des surfaces, côtés chaud et froid de l'espace d'air ;

h_{ro} est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. *formule 10* et Tableau 59) ;

h_a est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après le Tableau 56.

Pour une cavité de forme non rectangulaire, prendre la résistance thermique d'un vide rectangulaire ayant la même superficie et le même rapport de forme (*b/d*) que la cavité réelle.

4.3.1.1.1.3.2 Cavités d'air ventilées

Pour une cavité d'air fortement ventilée telle que définie au *paragraphe 2.1.1.2.1.2*, suivre la procédure spécifiée au *paragraphe 2.1.1.2.1.2*.

Pour une cavité d'air faiblement ventilée telle que définie au *paragraphe 2.1.1.2.1.3*, suivre la procédure spécifiée au *paragraphe 2.1.1.2.1.3*.

4.3.1.1.1.4 Espaces non chauffés

Lorsque l'enveloppe extérieure de certains espaces non chauffés n'est pas isolée, les méthodes simplifiées suivantes peuvent s'appliquer en assimilant l'espace non chauffé à une résistance thermique équivalente (une méthode plus détaillée pour la prise en compte des déperditions à travers les espaces non chauffés est donnée au fascicule « Généralités » des règles Th-Bat).

4.3.1.1.1.4.1 Combles non aménagés

En cas d'un plancher haut isolé situé sous un comble non aménagé, l'espace d'air du comble ainsi que la toiture peuvent être assimilés à une couche d'air thermiquement homogène dont la résistance thermique est donnée ci-dessous :

***Tableau 58 :* Résistance thermique équivalente des combles**

	Caractéristiques du toit	R_u
1	Toit à tuiles sans écran, panneaux ou équivalents	0,06
2	Toiture à base de longues feuilles mécaniques, ou toiture en tuiles avec écran ou panneaux équivalents sous les tuiles	0,2
3	Idem que 2, mais avec un revêtement à faible émissivité en sous-face de la	0,3
4	Toit doublé de panneaux et écran	0,3

Note : R_u comprend la résistance thermique de l'espace d'air et la résistance de la toiture en pente. Elle ne comprend pas
la résistance superficielle R_{se} de la toiture et elle ne doit pas être prise en compte pour le calcul des caractéristiques intrinsèques du plancher sous comble.

4.3.1.1.1.4.2 Autres espaces

Lorsque le bâtiment a un petit espace non chauffé contigu (garages, abris, buanderies, etc.), l'ensemble, constitué de l'espace non chauffé et des composants de construction externes peut être assimilé à une couche homogène ayant une résistance thermique R_u donnée par :

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0{,}33\ x\ nV} \quad (Formule\ 230)\ ;$$

où

A_i est la surface totale des composants séparant l'intérieur du local non chauffé, en m^2 ;

$A_{e,k}$ est la surface de l'élément *k* séparant le local non chauffé de l'environnement extérieur à l'exception des planchers bas en contact avec le sol, en m^2 ;

$U_{e,k}$ est le coefficient de transmission thermique de l'élément *k* entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur, en $W/(m^2.K)$;

n est le taux de renouvellement d'air du local non chauffé, en volume d'air par heure ;

V est le volume du local non chauffé, en m^3.

Si les détails constructifs des parois extérieures du local non chauffé ne sont pas connus, prendre:

$U_{e,k}$ = 2 $W/(m^2.K)$ et *n* = 3 volumes d'air par heure.

4.3.1.1.2 *Couches thermiquement hétérogènes*

Il s'agit de couches présentant une forte hétérogénéité due principalement à la présence simultanée de deux ou de plusieurs matériaux ayant des conductivités thermiques différentes.

Le transfert de chaleur par conduction à travers une couche thermiquement hétérogène est généralement de nature bidimensionnelle sauf cas particuliers où l'hétérogénéité est régulière et le transfert est mono- dimensionnel.

La résistance thermique *R* d'une couche hétérogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R = \frac{1}{U_p} - R_{si} - R_{se} \quad (Formule\ 231)\ ;$$

où

R_{si} et R_{se} sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 3.1.3.3*, en $m^2.K/W$;

U_p est le coefficient de transmission surfacique en $W/(m^2.K)$ de la couche, déterminé d'après le *paragraphe 3.1.2*.

4.3.1.1.3 *Résistance superficielle*

4.3.1.1.3.1 Surfaces planes

La résistance superficielle R_s se calcule d'après la formule suivante :

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (Formule\ 232)\ ;$$

où

h_r est le coefficient d'échanges par rayonnement, en $W/(m^2.K)$;

avec :

$h_r = \varepsilon h_{ro}$ *(Formule 233)* ;

$h_{ro} = 4 \sigma T_m^3$ *(Formule 234)* ;

où

ε est l'émissivité hémisphérique (corrigée) de la surface qui tient compte de l'effet de ternissement des surfaces et d'accumulation de poussière avec le temps. À défaut de valeurs données dans les documents d'Avis Techniques ou déterminées selon le présent fascicule, prendre $\varepsilon = 0,9$;

h_{ro} est le coefficient de rayonnement d'un corps noir (cf. Tableau 59) ;

σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8}$ W/(m^2.K^4)) ;

T_m est la température moyenne de la surface et des surfaces environnantes, en K ;

Tableau 59 : Valeurs de h_{ro}

Température moyenne *T*m en °C	*h*ro en W/(m^2.K)
– 10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

h_a est le coefficient d'échanges par convection, en W/(m^2.K) :

– sur les faces intérieures d'une paroi ou les faces extérieures adjacentes à une lame d'air fortement ventilée :

Tableau 60 : Valeurs de ha sur les faces intérieures

Flux de chaleur	*h*a (W/(m^2.K))
Ascendant	5,0
Horizontal	2,5
Descendant	0,7

– sur les faces extérieures : $h_a = 4 + 4v$ *(Formule 235)* ;

où

v est la vitesse du vent à proximité de la surface en m/s.

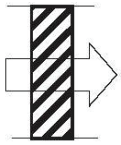
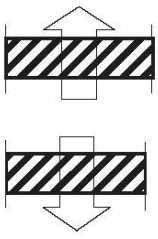
Des valeurs de la résistance superficielle côté extérieur R_{se} sont données dans le tableau suivant en fonction de la vitesse v du vent.

Tableau 61 : Valeurs de Rse en fonction de la vitesse du vent

Vitesse du vent m/s	*R*se (m^2.K/W)
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

Les valeurs des résistances superficielles intérieures Rsi et extérieures Rse, données dans le Tableau 62, ont été calculées avec une émissivité corrigée ε = 0,9 et hro calculé à 20 °C côté intérieur et à 0 °C côté extérieur pour une vitesse de vent de 4 m/s. En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes ces dernières devront être utilisées.

Tableau 62 – Résistances superficielles

Paroi donnant sur : **– l'extérieur** **– un passage ouvert** **– un local ouvert(1)**		***R*si** **m^2.K/W**	***R*se (2)** **m^2.K/W**	***R*si + *R*se** **m^2.K/W**
Paroi verticale Inclinaison ≥ 60 °	 Flux horizontal	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale Inclinaison < 60 °	Flux ascendant 	0,10 0,17	0,04 0,04	0,14 0,21
1. Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0,005 m^2 /m^3. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.				

Nota : La valeur de *R*si pour le flux ascendant s'applique aux planchers dotés d'un système de chauffage intégré et aux entrepôts frigorifiques.

4.3.1.1.3.2 Surfaces non planes

Les parties en saillie par rapport au plan des parois, telles que des poteaux de structure, peuvent être ignorées pour le calcul de la résistance thermique totale si elles sont constituées d'un matériau dont la conductivité thermique n'excède pas 2,5 W/(m.K).

Si la partie saillante est constituée d'un matériau de conductivité thermique supérieure à 2,5 W/(m.K), et n'est pas isolée, la résistance superficielle, à appliquer à l'aire projetée A_p de la paroi, doit être corrigée dans le rapport de l'aire projetée de la partie saillante à son aire développée réelle A :

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A} \quad (Formule\ 236)\ ;$$

où

R_s est la résistance superficielle d'un composant plan ;

A_p est l'aire projetée de la partie saillante ;

A est l'aire développée réelle de la partie saillante.

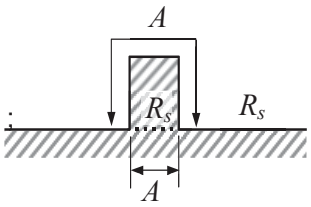


Figure 117 :

4.3.1.2 *Coefficient de transmission surfacique U*

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi U_p est le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre de cette paroi. Il s'exprime en W/(m^2.K) et il est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux et des résistances superficielles.

Les valeurs des coefficients surfaciques utilisées dans des calculs intermédiaires de parois opaques doivent être calculées avec au moins trois décimales. Les valeurs de U servant au calcul de la consommation d'énergie dans le bâtiment doivent être exprimées avec deux chiffres significatifs.

4.3.1.2.1 *Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé*

Une paroi qui donne sur l'extérieur ou sur un local non chauffé (à l'exception des vides sanitaires et des sous-sols non chauffés) est caractérisée par son coefficient de transmission surfacique intrinsèque U_p.

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, sont exprimées à l'aide d'un coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e calculé en fonction des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (cf. *paragraphes 4.3.1.2.2* et 4.3.1.2.3).

4.3.1.2.1.1 Paroi comportant des couches d'épaisseur uniforme

Le coefficient de transmission surfacique global des parois courantes, U_p en W/(m^2.K), se calcule d'après la formule suivante :

$U_p = U_c + \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3$ *(Formule* 237) ;

où

U_c est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de la paroi :

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \text{(Formule 238)}\ ;$$

où

R_{si}, R_{se} sont les résistances superficielles côtés intérieur et extérieur de la paroi, déterminées selon le paragraphe 4.3.1.1.3 du présent fascicule ;

R est la résistance thermique de la paroi, en m^2.K/W, déterminée comme étant la somme des résistances thermiques des couches composant la paroi y compris celles des lames d'air éventuelles : $R = \sum R_i$;

$\Delta U1$ est l'impact des ponts thermiques intégrés à la paroi :

$$\Delta U_1 = \frac{\sum_i \Psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \text{ (Formule 239) ;}$$

où

ψi est le coefficient linéique du pont thermique intégré i, déterminé selon le présent fascicule, exprimé en W/(m.K) ;

χ_j est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré *j*, exprimé en W/K ;

L_i est le linéaire du pont thermique intégré *i*, en mètres ;

A est la surface totale de la paroi, en m^2.

Les ponts thermiques intégrés ψi et χ_j peuvent être déterminés d'après les valeurs tabulées dans le présent fascicule, données par type de procédé.

En l'absence de valeurs tabulées, l'impact des ponts thermiques intégrés peut être déterminé par calcul numérique, conformément à la méthode suivante :

$$\Delta U_1 = \frac{\varphi}{A \ x \ \Delta T} - U_c \text{ (Formule 240) ;}$$

où

ϕ est le flux total exprimé en W (calcul 3D) ou en W/m (calcul 2D) ;

A est la dimension du modèle représentant un élément répétitif de la paroi, traversée par le flux, en m^2 (3D) ou en m (2D) ;

ΔT est la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure, en K.

Cette formule s'applique à toutes les parois notamment à celles où la distinction entre partie courante et ponts thermiques intégrés est difficile (paroi à forte hétérogénéité thermique).

Dans le cas particulier d'une paroi comportant des fixations ponctuelles sans contact direct entre ces fixations et un ou des parement(s) métallique(s) situés de part et d'autre de la fixation, la correction du coefficient de transmission thermique de la paroi concernée peut être déterminée selon la formule suivante :

$$\Delta U_1 = 0{,}8 \ x \ \frac{d_1}{d_0} \ x \ \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \ x \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \text{ (Formule 17) ;}$$

où

$d1$ est la longueur de la fixation, mesurée dans la couche isolante, en mètres ;

$d0$ est l'épaisseur de la couche d'isolation pénétrée par la fixation, en mètres ;

λ_f est la conductivité thermique de la fixation, en W/(m.K) ;

nf est le nombre de fixations par m^2 ;

Af est l'aire de la section droite de la fixation, en m^2 ;

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante pénétrée par les fixations, en $m^2.K/W$;

$R_{T, h}$ est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en $m^2.K/W$;

ΔU_2 est l'impact des circulations d'air au sein des parois ventilées sur l'extérieur :

$$\Delta U_2 = \Delta U'' \left(\frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 ;$$

où

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante contenant les cavités, en $m^2.K/W$;

$R_{T, h}$ est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en $m^2.K/W$;

$\Delta U''$ est la correction relative à la présence de cavités et de lames d'air dans la paroi, obtenue d'après le tableau ci-dessous, en $W/(m^2.K)$.

Trois niveaux de correction sont identifiés :

Niveau	Configuration des cavités et des lames d'air parasites dans la paroi ventilée sur l'extérieur	ΔU"
1	Aucune cavité(1) ou lame d'air(2) n'est présente dans la paroi	0,00
2	Seules des cavités d'air ponctuelles ou linéaires, traversant la totalité ou une partie de l'épaisseur de l'isolation, sont présentes dans la paroi	0,01
3	Des cavités d'air (niveau 2) communiquant avec une ou plusieurs lames d'air, parallèles à la paroi et située dans l'épaisseur et/ou en contact avec la face chaude de l'isolation	0,04
1. Une cavité d'air est perpendiculaire au plan de l'isolation. Elle pénètre dans l'épaisseur de la couche isolante. 2. Une lame d'air est parallèle au plan de l'isolation. Elle se situe à l'interface entre deux couches de la paroi.		

Exemples :

1. Exemples de procédés constructifs concernés par la correction ΔU_2

Rampants de toitures, bardages extérieurs ventilés, couvertures double peau, vêtures et vêtages.

2. Exemples de niveau 1

La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane pare-vapeur, parement, panneau de contreventement, ossature, etc.). Les joints entre panneaux isolants sont soit faibles (e < 5 mm) soit traités (tenons mortaise, remplissage mastic) :

Joint traité ou d'épaisseur inférieure à 5 mm

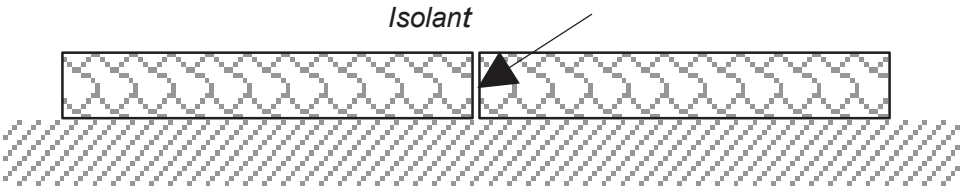


Figure 118 : Support ou parement adjacent

3. Exemples de niveau 2

La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche intérieure adjacente (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature). Les joints entre panneaux isolants sont supérieurs à 5 mm.

Joint ouvert d'épaisseur supérieure à 5 mm

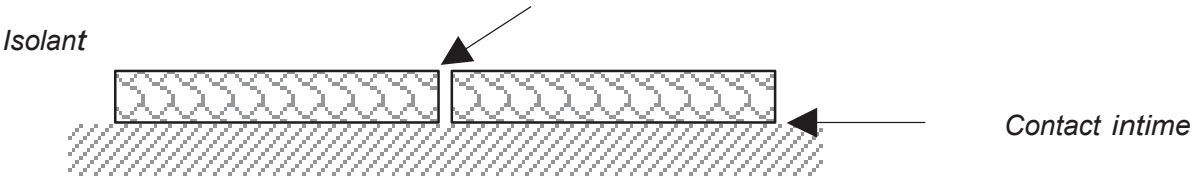


Figure 119 : Support ou parement adjacent

4. Exemples de niveau 3

La surface intérieure de l'isolation a un contact irrégulier avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature, etc.). Des cavités entre panneaux isolants communiquent avec les lames d'air parasites et permettent ainsi la circulation de l'air entre les côtés chaud et froid de l'isolation.

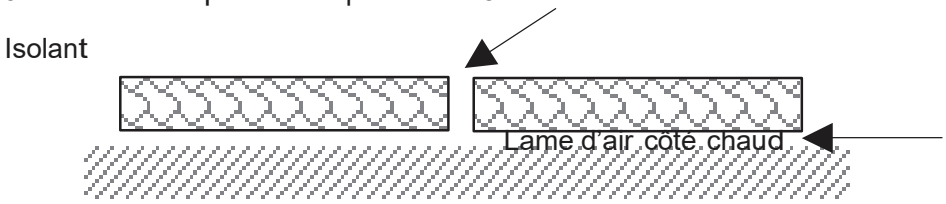


Figure 120 : Support ou parement adjacent

ΔU_3 est l'impact de l'écoulement des eaux de pluie entre l'isolant et la membrane d'étanchéité pour les toitures terrasses avec isolation inversée :

$\Delta U_3 = p\ f\ x\ x\left(\frac{R_1}{R_T}\right)$ $(Formule\ 241)$;

où

p est l'intensité moyenne des précipitations pendant la saison de chauffage, en mm/jour (cf. Tableau 63) ;

f est le coefficient d'écoulement donnant la fraction de *p* atteignant la membrane d'étanchéité ;

x est le coefficient d'augmentation de la déperdition de chaleur provoquée par l'écoulement des eaux de pluie sur la membrane ;

R_1 est la résistance thermique de la couche isolante située au-dessus de la membrane d'étanchéité ;

R_T est la résistance thermique totale de la toiture avant l'application de la correction, en m^2.K/W.

Nota 1 : pour les toitures-terrasses avec couche unique d'isolation comportant des joints secs avec protection lourde ouverte à l'extérieur prendre *f x = 0,04*. Pour d'autres configurations se référer aux Avis Techniques correspondants.

Nota 2 : le calcul de la résistance thermique de l'isolant en toiture inversé doit tenir compte d'une majoration de sa conductivité thermique due à un taux d'humidité généralement supérieur à celui couramment rencontré dans les autres techniques. Le mode de détermination du facteur de conversion correspondant est donné dans le fascicule « Matériaux ».

Tableau 63 : Précipitations moyennes en mm/jour

Département		p
n°	Nom	mm/j
01	AIN	2,12
02	AISNE	1,89
03	ALLIER	1,84
04	ALPES-DE-HAUTE-	2,03
05	HAUTES-ALPES	2,03
06	ALPES-MARITIMES	2,74
07	ARDÈCHE	2,62
08	ARDENNES	1,89
09	ARIÈGE	2,85
10	AUBE	1,81
11	AUDE	2,22
12	AVEYRON	2,19
13	BOUCHES-DU-RHÔNE	1,81
14	CALVADOS	2,09
15	CANTAL	1,93
16	CHARENTE	2,40
17	CHARENTE-MARITIME	2,42
18	CHER	1,94
19	CORRÈZE	1,93
20	CORSE	2,41
21	CÔTE-D'OR	1,89
22	CÔTES-D'ARMOR	2,37
23	CREUSE	1,93
24	DORDOGNE	1,99
25	DOUBS	3,00
26	DRÔME	2,62
27	EURE	1,59
28	EURE-ET-LOIR	1,59
29	FINISTÈRE	2,89
30	GARD	2,44
31	HAUTE-GARONNE	1,83
32	GERS	1,99

Département		p
n°	No	mm/j
33	GIRONDE	2,90
34	HÉRAULT	2,31
35	ILLE-ET-VILAINE	1,93
36	INDRE	2,06
37	INDRE-ET-LOIRE	1,98
38	ISÈRE	2,58
39	JURA	2,21
40	LANDES	2,87
41	LOIR-ET-CHER	1,99
42	LOIRE	1,56
43	HAUTE-LOIRE	1,56
44	LOIRE-	2,48
45	LOIRET	1,78
46	LOT	2,50
47	LOT-ET-GARONNE	1,99
48	LOZÈRE	1,56
49	MAINE-ET-LOIRE	1,86
50	MANCHE	1,84
51	MARNE	1,58
52	HAUTE-MARNE	2,25
53	MAYENNE	1,93
54	MEURTHE-ET-	2,00
55	MEUSE	2,25
56	MORBIHAN	2,90
57	MOSELLE	2,08
58	NIÈVRE	2,20
59	NORD	1,84
60	OISE	1,83
61	ORNE	2,24
62	PAS-DE-CALAIS	1,67
63	PUY-DE-DÔME	1,19
64	PYRÉNÉES-	3,42

Département		p
n°	No	mm/j
65	HAUTES-	3,33
66	PYRÉNÉES-	1,87
67	BAS-RHIN	1,33
68	HAUT-RHIN	1,31
69	RHÔNE	2,12
70	HAUTE-SAÔNE	2,86
71	SAÔNE-ET-LOIRE	2,21
72	SARTHE	1,99
73	SAVOIE	2,91
74	HAUTE-SAVOIE	2,91
75	VILLE DE PARIS	1,69
76	SEINE-MARITIME	2,24
77	SEINE-ET-MARNE	1,81
78	YVELINES	1,69
79	DEUX-SÈVRES	1,86
80	SOMME	2,04
81	TARN	1,83
82	TARN-ET-	1,99
83	VAR	2,42
84	VAUCLUSE	2,01
85	VENDÉE	2,32
86	VIENNE	2,07
87	HAUTE-VIENNE	3,01
88	VOSGES	2,00
89	YONNE	1,72
90	TERRITOIRE DE	3,06
91	ESSONNE	1,69
92	HAUTS-DE-SEINE	1,69
93	SEINE-SAINT-	1,69
94	VAL-DE-MARNE	1,69
95	VAL-D-OISE	1,69

4.3.1.2.1.2 Paroi comportant des couches d'épaisseur variable

Il s'agit notamment des formes de pente présentes en toitures terrasses. Les formules ci-après ne sont valables que pour des pentes ne dépassant pas 5 %. Pour des pentes supérieures des méthodes numériques peuvent être utilisées

Pour calculer le coefficient de transmission surfacique d'une paroi comportant différentes parties élémentaires à épaisseurs variables, procéder comme suit :

1. calculer le coefficient U_i de chaque partie élémentaire de surface A_i en utilisant la formule correspondante donnée dans les sections (a) à (d) ci-dessous ;

2. calculer le coefficient de transmission surfacique global pour la paroi en utilisant la formule suivante :

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i} ;$$

a – surface rectangulaire :

$$U = \frac{1}{R_1} ln\left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right) ;$$

b – surface triangulaire ayant l'épaisseur maximale à la pointe :

$$U = \frac{2}{R_1}\left[\left(1 + \frac{R_0}{R_1}\right) ln\left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right) - 1\right] ;$$

c – surface triangulaire ayant l'épaisseur minimale à la pointe :

$$U = \frac{2}{R_1}\left[1 - \frac{R_0}{R_1} ln\left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right)\right] ;$$

d – surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet :

$$U = 2\,\frac{\left[R_0 R_2\, ln\left(1 + \frac{R_1}{R_0}\right) - R_0 R_1\, ln\left(1 + \frac{R_2}{R_0}\right) + R_1 R_2\, ln\left(\frac{R_0}{R_0} + \frac{R_1}{R_2}\right)\right]}{R_1 R_2 (R_1 - R_2)} ;$$

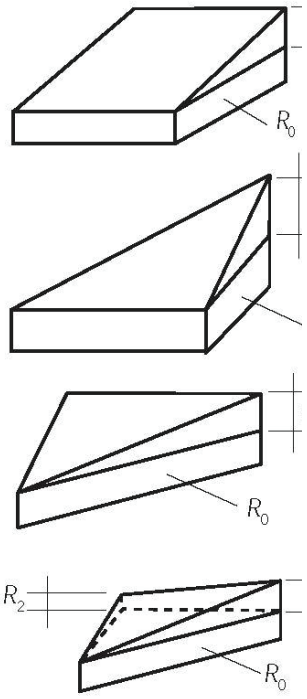


Figure 121 :

où

$R0$ est la résistance thermique totale des autres couches inférieures d'épaisseurs homogènes, y compris les résistances superficielles de la paroi, en m^2.K/W ($R0 \neq 0$ m^2.K/W) ;

$R1$ est la résistance thermique maximale de la couche d'épaisseur variable comme montré sur les figures ci-dessus, en m^2.K/W ($R1 \neq 0$ m^2.K/W) ;

$R2$ est la résistance thermique située au niveau du troisième sommet en cas d'une surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet comme montré sur la *Figure 121* en (d), en m^2.K/W.

4.3.1.2.2 ***Parois en contact avec le sol***

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique « équivalent » dont la méthode de calcul est donnée ci-après (pour plus d'information se référer à la norme NF EN ISO 13370).

Des valeurs tabulées du coefficient surfacique équivalent Ue de planchers bas sur terre-plein sont données dans les documents d'application.

4.3.1.2.2.1 Paramètres de calcul

4.3.1.2.2.1.1 <u>Dimension caractéristique du plancher</u>

$$B' = \frac{A}{1/2 P} \text{ (Formule 242) ;}$$

où

B' est la dimension caractéristique du plancher, en mètres ;

A est l'aire du plancher bas en contact avec le sol, en mètres carrés ;

P est le périmètre du plancher bas mesuré du côté intérieur, en mètres.

4.3.1.2.2.1.2 Épaisseur équivalente du plancher en contact avec le sol

$$d_t = w + \lambda_s \, (R_{si} + R_f + R_{se}) \text{ (Formule 243)} ;$$

où

d_t est l'épaisseur « équivalente » du plancher, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que ce plancher, en mètres ;

w est l'épaisseur totale du mur, toutes couches comprises, en mètres ;

λ_s est la conductivité thermique du sol non gelé déterminée selon le *fascicule « matériaux »*, en W/(m.K) ;

R_f est la résistance thermique du plancher en contact avec le sol y compris l'effet des ponts thermiques intermédiaires (un exemple de calcul de R_f est donné au *paragraphe 0*) en m^2.K/W ;

R_{si}, R_{se} sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 4.3.1.1.3*, en m^2.K/W.

4.3.1.2.2.1.3 Épaisseur équivalente des murs enterrés

$$d_w = \lambda_s \, (R_{si} + R_w + R_{se}) \text{ (Formule 244)} ;$$

où

d_w est l'épaisseur « équivalente » du mur enterré, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que le mur, en mètres ;

R_w est la résistance thermique du mur enterré toutes couches comprises, en m^2.K/W.

4.3.1.2.2.1.4 Autres paramètres

D est la largeur ou la profondeur de l'isolation périphérique respectivement horizontale ou verticale, en mètres ;

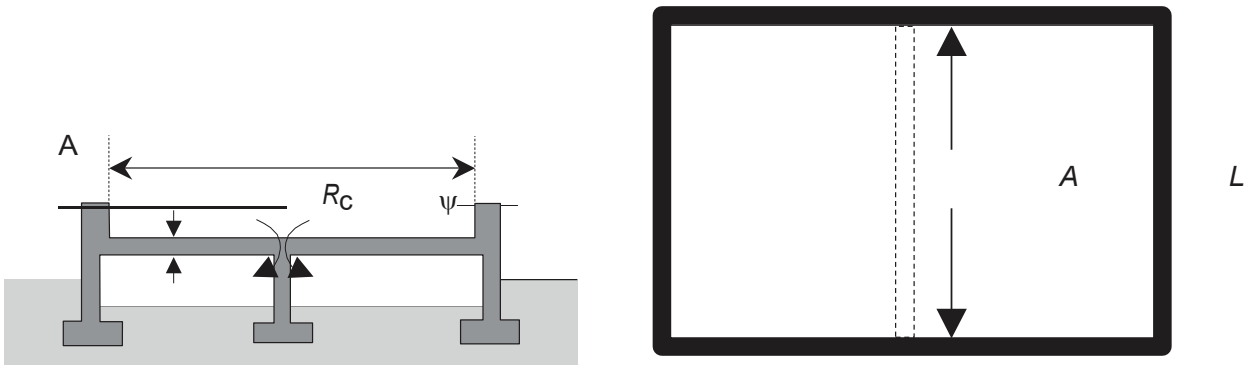
R_n est la résistance thermique de l'isolation périphérique horizontale ou verticale (ou du mur de fondation) en m^2.K/W ;

d_n est l'épaisseur de l'isolation périphérique (ou du mur de fondation en cas d'isolation répartie), en mètres ;

z est la profondeur moyenne au-dessous du sol de la face inférieure du plancher bas du sous-sol chauffé, en mètres.

4.3.1.2.2.1.5 Calcul de Rf

*R*f doit tenir compte des ponts thermiques des liaisons éventuelles avec le plancher bas.



Coupe verticale Plan

Figure 122 :

Soit un plancher bas de surface *A* donnant sur un vide sanitaire, un sous-sol non chauffé ou en contact avec le sol et supporté par un refend intermédiaire de longueur *L* (cf. *figure 8* ci-dessus) et où :

*R*p est la résistance thermique du plancher ;

*U*p est le coefficient surfacique correspondant ;

ψ est le coefficient linéique de la liaison plancher bas-refend ;

*R*f est la résistance thermique globale du plancher incluant l'effet de tous les ponts thermiques situés entre le local chauffé et le vide sanitaire, et *U*f le coefficient surfacique correspondant.

*R*f se calcule par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1}{U_f} - 2R_{si}$$

où

$U_f = U_p + \frac{\psi . L}{A}$;

$U_p = \frac{1}{R_p + 2R_{si}}$;

*R*si est la résistance superficielle côté intérieur et côté vide sanitaire.

4.3.1.2.2.2 Planchers

4.3.1.2.2.2.1 Planchers sur terre-plein

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'un plancher bas sur terre-plein s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après les formules suivantes :

1. Plancher à isolation continue (cf. *Figure 123*)

$$U_e = U_c \text{ (Formule 245) ;}$$

2. Plancher à isolation périphérique (cf. *Figure 123*)

$$U_e = U_c + 2\frac{\Delta\psi}{B'} \text{ (Formule 246) ;}$$

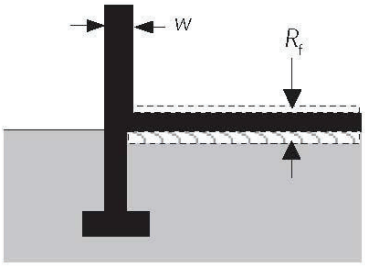


Figure 123 :

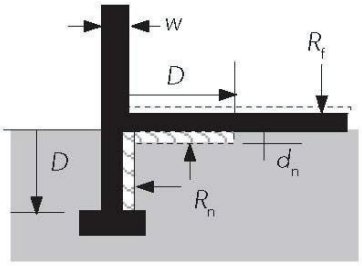


Figure 124 :

où

U_C est le coefficient surfacique « équivalent » du plancher sans l'effet de l'isolation périphérique :

$$\text{Si } d_t < B', \quad U_c = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t} ln\left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1\right) \ (Formule\ 247) ;$$

$$\text{Si } d_t \geq B', \quad U_c = \frac{\lambda_s}{0{,}457B' + d_t} \ (Formule\ 248) ;$$

$\Delta\psi$ est un terme correctif qui tient compte de la présence d'une isolation périphérique :

$$\text{horizontale,} \quad \Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi}\left[ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right)\right] \ (Formule\ 249) ;$$

$$\text{verticale} \quad \Delta\psi = -\frac{\lambda_s}{\pi}\left[ln\left(\frac{2D}{d_t} + 1\right) - ln\left(\frac{2D}{d_t + d'} + 1\right)\right] \ (Formule\ 250) ;$$

où

d' est l'épaisseur supplémentaire « équivalente » résultant de la couche d'isolant périphérique, elle s'exprime en mètre et se calcule d'après la formule suivante :

$$d' = \lambda_s R_n - d_n \text{ Formule 251).}$$

4.3.1.2.2.2.2 Planchers bas de sous-sol chauffé

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'un plancher bas en sous-sol chauffé s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après les formules suivantes :

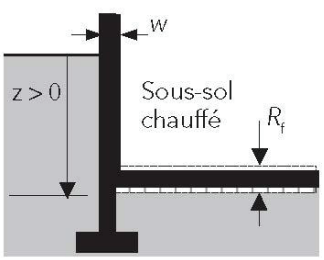
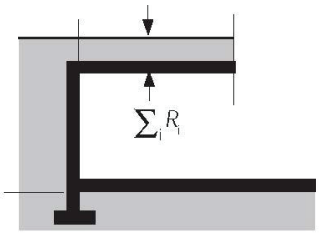


Figure 125 :

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2}\right) < B', \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t + \frac{z}{2}} \ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1\right) \quad \textit{(Formule 29)} ;$$

$$\text{Si } \left(d_t + \frac{z}{2}\right) \geq B', \quad U_e = \frac{\lambda_s}{0{,}457B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad \textit{(Formule 30)}.$$



4.3.1.2.2.2.3 Planchers hauts enterrés

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » *U*e d'un plancher haut enterré s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après la formule suivante :

$$U_e = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \ (Formule\ 252) ;$$

Figure 126 :

où

$\Sigma_i R_i$ est la somme des résistances thermiques de toutes les couches *i* comprises entre la face inférieure du plancher et la face supérieure du sol (c f. *Figure 126*), déterminée selon le *paragraphe 4.3.1.1*.

4.3.1.2.2.2.4 Murs enterrés

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » *U*e d'un mur enterré s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après la formule suivante :

$$\text{si } d_w \geq d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z}\left(1 + \frac{0{,}5d_t}{d_t + z}\right)\ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \textit{(Formule 32)} ;$$

$$\text{si } d_w < d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z}\left(1 + \frac{0{,}5d_w}{d_w + z}\right)\ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \textit{(Formule 33)}.$$

4.3.1.2.3 *Parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé*

Les déperditions à travers les parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol et à travers l'espace non chauffé. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique « équivalent » dont la méthode de calcul est donnée ci-après (une méthode numérique alternative est décrite dans la norme NF EN 10211).

Des valeurs tabulées du coefficient surfacique équivalent *U*e de planchers bas donnant sur vide sanitaire sont données dans le *fascicule paroi opaque - application*.

4.3.1.2.3.1 Paramètres de calcul

Les paramètres de calcul donnés au *paragraphe 4.3.1.2.2.1* et les paramètres suivants sont utilisés pour le calcul de *U*e.

*d*g est l'épaisseur « équivalente » de toute isolation posée sur le sol, exprimée en mètres et calculée d'après la formule suivante :

$$d_g = w + \lambda_s\,(R_{si} + R_g + R_{se}) \ \textit{(Formule 253)} ;$$

où

R_g est la résistance thermique de toute isolation posée sur le sol, en m^2.K/W.

U_f est le coefficient de transmission surfacique total du plancher bas donnant sur l'espace non chauffé, il tient compte de l'effet des liaisons intermédiaires du plancher (un exemple de calcul de U_f est donné au *paragraphe 2.2.2.1*) :

$$U_f = U_p + \frac{\sum_k \Psi_k L_k + \sum_k \chi_k}{A} \quad (Formule\ 254)\ ;$$

où

U_p est le coefficient surfacique du plancher bas exprimé en W/(m^2.K) et calculé selon le *paragraphe 4.3.1.2*.

ψ_k est le coefficient linéique de la liaison intermédiaire *k* du plancher bas, exprimé en W/(m.K) et déterminé selon le fascicule - Ponts thermiques ;

χ_k est le coefficient ponctuel k lié à un élément déperditif ponctuel, exprimé en W/K et déterminé selon le fascicule - Ponts thermiques ;

L_k est le linéaire de la liaison intermédiaire (cf. Définitions au *paragraphe 4.1.3*), en mètres ;

A est la surface intérieure du plancher bas, en m^2.

h est la hauteur moyenne de la face supérieure du plancher au-dessus du niveau du sol extérieur, en mètres.

z est la profondeur moyenne du sol du vide sanitaire au-dessous du niveau du sol extérieur, en mètres.

p est le périmètre du vide sanitaire ou du sous-sol non chauffé, en mètres.

U_w est le coefficient surfacique global du mur du vide sanitaire situé au-dessus du niveau du sol, exprimé en W/(m^2.K) et calculé selon le *paragraphe 4.3.1.2*

ε est l'aire des ouvertures de ventilation divisée par le périmètre du vide sanitaire en m^2/m.

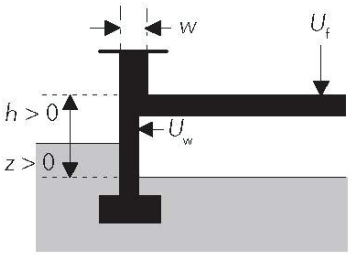
f_w est le facteur de protection contre le vent.

v est la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, en m/s.

En l'absence de valeur mesurée, prendre : v = 4 m/s.

4.3.1.2.3.2 Planchers sur vide sanitaire

La méthode de calcul ci-dessous traite du cas classique de vide sanitaire dans lequel l'espace sous plancher est ventilé naturellement par l'extérieur. En cas de ventilation mécanique, ou si le taux de renouvellement d'air est spécifié, se reporter à la norme NF EN ISO 13370.



Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'un plancher donnant sur un vide sanitaire s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après la formule suivante :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (\text{Formule } 255)\ ;$$

où

U_f est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la *formule 35* et exprimé en W/(m^2.K) ;

U_g est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en W/(m^2.K) :

si $z \leq 0{,}5$ m, U_g se calcule d'après la *formule 24* en remplaçant d_t par d_g ;

si $z > 0{,}5$ m, $U_g = U_{bf} + \frac{zp}{A} U_{bw}$ (Formule 256) ;

où

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du vide sanitaire et calculé d'après la *formule 29* en remplaçant d_t par d_g ;

U_{bw} correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la *formule 32* ou la *formule 33* en remplaçant d_t par d_g ;

U_x est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du vide sanitaire et aux déperditions par renouvellement d'air résultant de la ventilation du vide sanitaire, exprimé en W/(m^2.K) et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{1450\ \varepsilon\ v\ f_w}{B'} \text{ (Formule 257) ;}$$

Si h varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne.

Des valeurs forfaitaires de f_w sont données dans le *Tableau 64*:

***Tableau 64 :* Valeurs forfaitaires de f_w**

Situation	Exemple	f_w
Abritée	Centre ville	0,02
Moyenne	Banlieue	0,05
Exposée	Milieu rural	0,10

4.3.1.2.3.3 Planchers sur sous-sol non chauffé

Les formules indiquées dans ce paragraphe s'appliquent aux sous-sols non chauffés ventilés depuis l'extérieur.

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'un plancher donnant sur un sous-sol non chauffé s'exprime en W/(m^2.K) et se calcule d'après la *formule* :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad ;$$

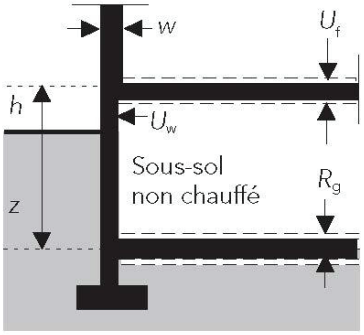


Figure 14

où

U_f est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la *formule 35* et exprimé en W/(m^2.K) ;

U_g est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en W/(m^2.K) et calculé d'après la *formule* :

$$U_g = U_{bf} + \frac{zp}{A} U_{bw} \quad ;$$

où

U_{bf} correspond aux déperditions par le sol du sous-sol non chauffé et calculé d'après les *formules 29* ou *30*, en remplaçant d_t par d_g ;

U_{bw} correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la *formule 32* ou la *formule 33*, en remplaçant d_t par d_g ;

U_x est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du sous-sol non chauffé et à celui résultant de la ventilation du sous-sol, exprimé en W/(m^2.K) et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{0{,}33nV}{A} \text{ (Formule 258)} \quad ;$$

où

V est le volume d'air du sous-sol, en m^3 ;

n est le taux de renouvellement d'air du sous-sol, en nombre de renouvellements d'air par heure.

Si h varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne.

4.3.1.2.3.4 Murs

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'un mur donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé peut être calculé d'après les *formules 34 à 39* en remplaçant les caractéristiques thermiques du plancher par celles du mur.

B' étant toujours la dimension caractéristique du plancher séparant l'espace non chauffé du sol.

4.3.1.2.4 ***Parois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé***

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent » U_e d'une paroi dont la face froide est à la fois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé (local ou vide sanitaire) est calculé comme suit :

$$U_e = \frac{\sum U_{ei} A_i}{\sum A_i} ;$$

où

U_{ei} est le coefficient de transmission équivalent de la paroi calculé comme si toute la paroi était en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire ;

A_i est la superficie de la partie i de la paroi en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire.

Exemple :

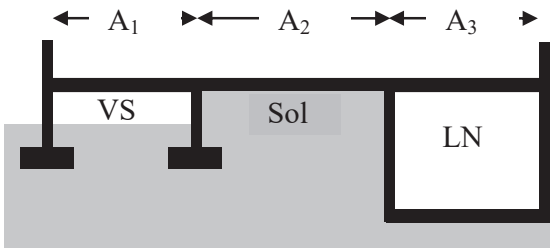


Figure 127 :

4.3.1.3 *Facteur Solaire S*

La définition du facteur de transmission solaire d'une paroi opaque ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Le présent document propose donc une méthode générale de calcul à partir du coefficient de transmission thermique Up de la paroi opaque considérée.

4.3.1.3.1 *Méthode de calcul dans le cas général*

Le facteur de transmission solaire de la paroi opaque est déterminé pour les conditions aux limites C et E. Il n'est pas fait de distinction entre les incidences directe du soleil, diffuse du ciel ou réfléchie par le sol, ni sur les composante à l'intérieur des locaux : on ne considère qu'un facteur de transmission solaire global.

Incidence	***Composante intérieure***	***Résultat de l'application de la méthode***	
		C	***E***
Toutes incidences	**Global**	S_{p-C}	S_{p-E}

***Tableau 65* :facteurs solaires calculés pour les parois opaques**

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$S_{p-C} = \alpha_p . U_{p-C} . R_{se-C}$$
$$S_{p-E} = \alpha_p . U_{p-E} . R_{se-E}$$

(Formule 259)

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque,

- U_{p-} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon le §4.3.1.2et les normes associées en W.m-2.K-1,

- U_{p-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir formule xx) en W.m-2.K-1,

- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E, exprimées en m².K.W-1,

En l'absence de valeurs de αp mesurées, les valeurs par défaut suivantes peuvent être utilisées :

Catégorie	Couleurs	Valeur de α_p par défaut
Clair	Blanc, jaune, orange, rouge clair	0,4
Moyen	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen	0,8
Noir	Noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre	1,0

Tableau 66 : valeurs de αp par défaut pour les parois opaques

Les valeurs des résistances superficielles extérieures utilisées dans le cadre du présent chapitre sont les suivantes :

Inclinaison de la paroi β	R_{se-C} (m².K.W^{-1})	R_{se-E} (m².K.W^{-1})
Toute inclinaison	0,04	0,07

Tableau 67 : résistances superficielles extérieures en conditions C et E utilisées dans les règles Th-S

Le coefficient de transmission thermique en conditions E, Up-E, est calculé de la manière suivante :

$$\frac{1}{U_{p-E}} = \frac{1}{U_{p-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \qquad \text{(formule 260)}$$

Soit $\frac{1}{U_{p-E}} = \frac{1}{U_{p-C}} + 0{,}03$

Où R_{si-C} et R_{si-E} sont les résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) (W/m².K), en conditions C et E.

Les valeurs des résistances superficielles intérieures utilisées dans le cadre du présent chapitre sont les suivantes :

Inclinaison de la paroi β_k	R_{si-C} ($m^2.K.W^{-1}$)	R_{si-E} ($m^2.K.W^{-1}$)
0° (horizontale, flux ascendant)	0,10	0,10
90° (verticale)	0,13	0,13
180° (horizontale, flux descendant)	0,17	0,17

Tableau 68 :résistances superficielles intérieures en conditions C et E

L'impact d'éventuelles protections rapportés, masques proches ou brise-soleils n'est pas pris en compte.

4.3.1.3.2 ***Facteur solaire des parois opaques avec lame d'air ventilées***

Les méthodes ci-dessous ne s'appliquent pas si l'une des deux faces de la lame d'air ventilée est revêtue d'une face possédant une émissivité thermique inférieure à 0,5 (barrières radiantes), ou si plusieurs lames d'air ventilées interviennent.

Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée d'inclinaison β supérieure à 60° (verticale ou fortement inclinée)

Le présent paragraphe est valable pour une lame d'air extérieure munie d'ouvertures en position hautes et basses, supposée fortement ventilée, telle que représentée sur la figure ci-dessous :

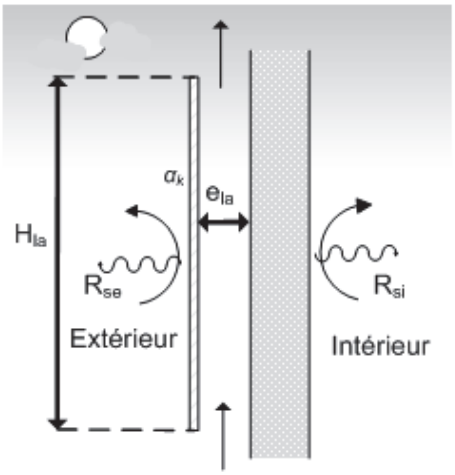


Figure 128 : représentation d'une paroi opaque verticale à lame d'air extérieure ventilée

La circulation d'air dans la lame d'air est supposée n'avoir pour moteur que le tirage thermique.

Les facteurs solaires de la paroi deviennent les suivants :

$$S_{C,p} = \alpha_p . R_{se,C} . K_{corr\_la,C} . U_{p-C}$$
$$S_{E,p} = \alpha_p . R_{se,E} . K_{corr\_la,E} . U_{p-E} \qquad \text{(Formule 261)}$$

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir Tableau 66).

- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement, en m².K.W-1), en conditions C et E.

- U_{p-C} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, déterminée selon §4.3.1.2 et les normes associées en W.m-2.K-1,

- U_{p-E} est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E (voir équation xxx) en W.m-2.K-1,

- $K_{corr\_la,C}$ et $K_{corr\_la,E}$ sont des coefficients de corrections associés à la prise en compte de la lame d'air extérieure ventilée. On retient la même valeur pour les deux coefficients, à partir du tableau suivant. Soit ela la largeur minimale des ouvertures en parties hautes et basses de la lame d'air et Hla sa hauteur :

	H_{la} (m)			
	2 ou moins		10 ou plus	
e_{la} (m)	$\alpha_k = 0,4$	$\alpha_k = 0,8$	$\alpha_k = 0,4$	$\alpha_k = 0,8$
0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,05	0,70	0,65	0,70	0,70
0,1	0,65	0,60	0,65	0,60
0,5	0,60	0,55	0,55	0,50

Tableau 69 : **cas des lames d'air verticales ventilées sur l'extérieur, valeurs du coefficient $K_{corr\_la,E}$**

Paroi opaque avec lame d'air extérieure ventilée d'inclinaison β inférieure ou égale à 30° (horizontale ou faiblement inclinée)

La circulation d'air dans la lame d'air, ayant pour moteur le vent, a pour effet d'augmenter les échanges thermiques de la paroi opaque avec l'extérieur et de diminuer son facteur solaire.

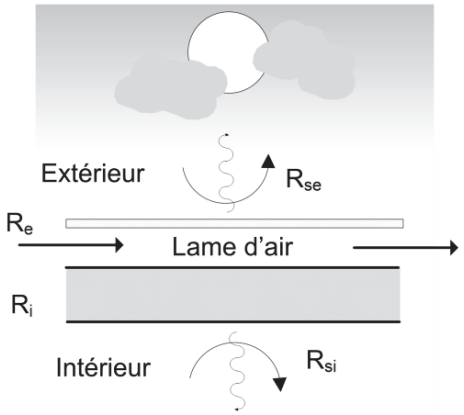


Figure 129 : représentation d'une paroi opaque horizontale à lame d'air extérieure ventilée

La valeur des facteurs solaires $S_{C,p}$ et $S_{E,p}$ est obtenue par interpolation entre les valeurs obtenues dans le cas d'une lame d'air non-ventilée, et d'une lame d'air très fortement ventilée.

Les facteurs de transmission solaire de la paroi sont déterminés par les relations suivantes:

$$S_{C,p} = \alpha_p . R_{se,C} . \left[K_{qs} . U_{p-C,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) . U_{p-C,eq\_tres\_ventilée} \right]$$
$$S_{E,p} = \alpha_p . R_{se,E} . \left[K_{qs} . U_{p-E,non-ventilée} + (1 - K_{qs}) . U_{p-E,eq\_tres\_ventilée} \right] \quad \text{(Formule 262)}$$

Où :

- α_p est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque (voir Tableau 66).

- R_{se-C} et R_{se-E} sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement, en m².K.W-1), en conditions C et E.

- $\mathbf{U_{p-C,non-ventilée}}$ et $\mathbf{U_{p-E,non-ventilée}}$ les conductivités thermiques dans l'hypothèse d'une lame d'air non-ventilée en conditions C et E, sont obtenues par les relations suivantes :

$$U_{p-C,non-ventilée} = \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,C} + R_{si,C}}$$
$$U_{p-E,non-ventilée} = \frac{1}{R_e + R_i + R_{la} + R_{se,E} + R_{si,E}} \quad \text{(Formule 263)}$$

Avec :

- $\boldsymbol{R_i}$ est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'intérieur, en m².K.W-1,
- $\boldsymbol{R_e}$ est la résistance thermique de la partie de la paroi en contact avec l'extérieur, en m².K.W-1,
- $\boldsymbol{R_{la}}$ est la résistance thermique de la lame d'air, en supposant celle-ci fermée et non-ventilée, m².K.W-1.

- $\boldsymbol{U_{p-C,eq-très-ventilée}}$ et $\boldsymbol{U_{p-E,eq-très-ventilée}}$ les conductivités thermiques équivalents dans l'hypothèse d'une lame d'air très fortement ventilée en conditions C et E, sont obtenues par les relations empiriques suivantes :

$$U_{p-C,eq\_tres\_ventilée} = \frac{1}{(R_e + R_{se-C} + 0{,}06) \times (R_i + R_{si-C} + 0{,}06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-C} + 0{,}06} + \frac{1}{R_i + R_{si-C} + 0{,}06} + 30 \right)}$$
$$U_{p-E,eq\_tres\_ventilée} = \frac{1}{(R_e + R_{se-E} + 0{,}06) \times (R_i + R_{si-E} + 0{,}06) \times \left(\frac{1}{R_e + R_{se-E} + 0{,}06} + \frac{1}{R_i + R_{si-E} + 0{,}06} + 30 \right)} \quad \text{(Formule 264)}$$

- K_{qs}, coefficient caractéristique des interactions entre le vent et la lame d'air est déterminé à partir du tableau suivant, à partir de :

  - S_{EA}, surface de la plus petite des différentes sections latérales d'ouverture, en m²,

  - $A_{e,p}$, surface totale de la face intérieure de la partie en contact avec l'extérieur de la paroi opaque, en m²,

Rapport $\frac{S_{EA}}{A_{e,p}}$	Situation de la lame d'air	
	Site ouvert (exposé aux vents), et lame d'air traversante[12]	Autres cas
0,0%	1,00	1,00
0,1%	0,80	1,00
0,2%	0,65	0,85
0,5%	0,50	0,70
1,0%	0,35	0,55
2,0%	0,20	0,45

[12] La lame d'air est considérée traversante si pour chaque orientation la surface d'ouverture latérale est inférieure à 75% de la surface totale d'ouverture latérale de la lame d'air.

5,0%	0,05	0,25
10,0%	0,00	0,10
20,0% ou plus	0,00	0,00

***Tableau 70 :*valeurs du coefficient caractéristique K_{qs} pour le cas des lames d'air ventilées sur l'extérieur et proches de l'horizontale,**

4.3.1.3.3 ***Facteur solaire d'une paroi opaque végétalisée***

Paroi opaque d'inclinaison β supérieure à 60° (verticale ou très fortement inclinée)

L'impact de la végétalisation pour ce type de paroi peut être négligé, ou traité par une procédure particulière.

Paroi opaque d'inclinaison β inférieure ou égale à 60° (horizontale ou inclinée autour de 45°) :

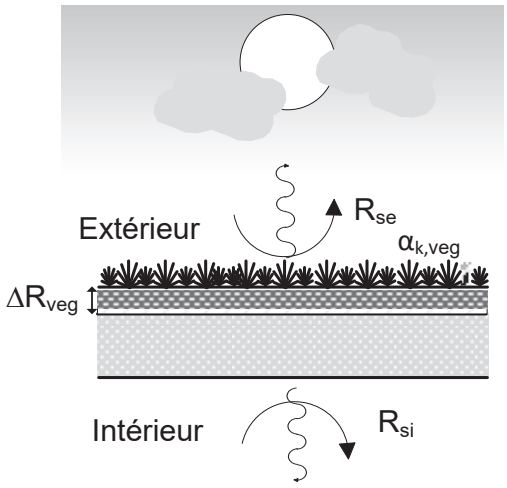


Figure 130 : paroi opaque horizontale végétalisée

La méthode s'applique aux parois végétalisées horizontale ou faiblement inclinées, de type élément porteur lourd (béton) ou sur éléments porteurs légers (bac acier ou bois). Elle se limite aux végétalisations extensive et semi-intensive.

Tout autre type de végétalisation (toitures jardins,…) doit être traité par une procédure spécifique.

Le facteur de transmission solaire de la paroi végétalisée en conditions C et E sont déterminés par les relations suivantes :

$$S_{E,p} = \alpha_{p,veg}.U_{p-E,veg\,sec}R_{se,E}.[100-\Delta t_{hum}]$$
$$S_{C,p} = \frac{1}{2}\times S_{E,p}$$

(Formule 265)

Avec :

- $\alpha_{p,veg}$ est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque en prenant en compte la couche végétalisée. Il est déterminé à l'aide du tableau suivant :

	Type de végétalisation	
	Extensive	Semi-intensive

α_{pveg}	0,70	0,40

***Tableau 71 :* Coefficient d'absorption énergétique équivalent de la paroi végétalisée**

- $U_{p\text{-}E,veg\ sec}$ est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions E, en prenant en compte les résistances thermiques additionnelles dues à la couche de drainage et au substrat sec en W.m-2.K-1. Il peut être déterminé par la relation suivante :

$$\frac{1}{U_{p-E,veg\,sec}} = \frac{1}{U_{k-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) + \Delta R_{veg} \qquad \text{(Formule 266)}$$

Avec :

- $U_{p\text{-}C}$ est le coefficient de transmission thermique de la paroi opaque en conditions C, sans prendre en compte la végétalisation, déterminée selon les règles Th-Bat et les normes associées, en W.m-2.K-1

- ΔR_{veg} est la résistance thermique additionnelle associée à la couche de drainage et au substrat sec, en m².K.W-1. A défaut de valeur, le tableau suivant peut être utilisé :

	Drainage en matériau polystyrène		Drainage d'autre type	
Type de végétalisation	Extensive	Semi-intensive	Extensive	Semi-intensive
Epaisseur de substrat	6 cm	14 cm	6 cm	14 cm
ΔR_{veg} (m².K.W-1)	0,30	0,45	0,15	0,30

***Tableau 72 :*Gains en résistance thermique associé au substrat sec et au drainage, en fonction des caractéristiques de la toiture végétalisée**

- $R_{se\text{-}E}$ est la résistance thermique superficielle extérieure (convection et rayonnement) en conditions E, exprimée en m².K.W-1.

- Δt_{hum} représente le pourcentage de temps durant lequel le substrat reste humide lors de la saison estivale, exprimé en %. A défaut de valeurs, le tableau suivant peut être utilisé :

Type de végétalisation	Extensive		Semi-intensive	
Zone climatique (ville)	Sans irrigation	Avec irrigation automatique de 20mm d'eau par semaine	Sans irrigation	Avec irrigation automatique de 20mm d'eau par semaine
H1a (Trappes) H1b (Nancy) H1c (Macon)	25	75	20	50
H2a (Rennes) H2b (Tours) H2c (Agen)	10	35	10	20
H2d (Carpentras) H3 (Nice)	5	20	5	15

Tableau 73 : **Pourcentage de temps durant lequel le substrat est humide en période estivale, en fonction des caractéristiques de la toiture et de la zone climatique**

Valeurs par défaut :

A défaut de valeurs calculées selon les paragraphes précédents, les facteurs solaires des toitures végétalisées s'expriment en fonction de la résistance thermique de l'isolant de la toiture, du type de végétalisation employée et de la zone climatique.

Le tableau suivant donne les facteurs solaires des toitures végétalisées ne possédant pas de système d'irrigation automatisé :

		Facteur solaire en condition estivale $S_{f\text{-}E,v}$				**Facteur solaire en condition de consommation $S_{f\text{-}C,v}$**			
		R isolant toiture, en m².K/W				R isolant toiture, en m².K/W			
Type de végétalisation	Zone climatique	0	2	5	7	0	2	5	7
Extensive	H1a / H1b / H1c	0,115	0,020	0,010	0,010	0,055	0,005	0,005	0,005
	H2a / H2b / H2c	0,120	0,020	0,010	0,010	0,060	0,010	0,005	0,005
	H2d / H3	0,130	0,025	0,010	0,010	0,060	0,010	0,005	0,005
Semi-intensive	H1a / H1b / H1c	0,050	0,010	0,005	0,005	0,020	0,005	0,005	0,005
	H2a / H2b / H2c	0,050	0,010	0,005	0,005	0,025	0,005	0,005	0,005
	H2d / H3	0,055	0,015	0,005	0,005	0,025	0,005	0,005	0,005

*Tableau 74 :***valeurs par défaut de facteurs de transmission solaire pour les parois opaques végétalisées**

4.3.2 ELEMENTS DE METHODES COMPLEMENTAIRES

Ce chapitre contient des compléments de méthodes spécifiques à des procédés particuliers.

4.3.2.1 ***Etalement sur plancher haut de matériaux en vrac***

Sont visées ici les utilisations des matériaux en vrac sur les planchers hauts sous combles perdus. Lorsque les matériaux relèvent pour cette utilisation de la procédure de l'Avis Technique, on se reportera à ces Avis et aux « Règles générales de mise en œuvre des procédés et produits d'isolation thermique rapportée sur planchers de greniers et combles perdus faisant l'objet d'un Avis Technique » en ce qui concerne la mise en œuvre et les limites d'emploi.

Les matériaux sont déposés sur les planchers par déversement manuel ou par soufflage à la machine.

Dans le cas général, le coefficient de transmission thermique Up d'un plancher haut isolé avec des matériaux en vrac, doit être calculé conformément au paragraphe 4.3.1.2.1 du présent fascicule.

Sachant que la résistance thermique R de la couche isolante, en m².K/W est déterminée de la manière suivante :

$$R = \frac{e \times (1 - s)}{\lambda} \qquad \text{(formule 267)}$$

Où :

- R est la résistance thermique en m².K/W ;
- e est l'épaisseur de la couche déposée (mesurée après sa mise en œuvre) en mètres ;
- λ est la conductivité thermique utile déterminée conformément au fascicule « matériaux » en W/(m.K) ;
- s est le tassement sans unité :

$$s = \frac{e - e_f}{e} \qquad \text{(formule 268)}$$

Où :

- e_f est l'épaisseur après tassement en mètres ;

Dans la suite de ce paragraphe on donne, à titre d'exemple, pour quelques matériaux et pour chacune de ces mises en œuvre :

- pour les planchers plats, la résistance thermique (R) de la couche déposée,
- pour les planchers à solives industrialisées, les valeurs de ponts thermiques intégrés associés.

Les deux modes d'application : déversement manuel et soufflage, font l'objet de deux paragraphes différents.

Pour l'ensemble des matériaux visés, sont précisées dans les tableaux ci-après, la valeur de tassement, la conductivité thermique par défaut et la plage de masse volumique du matériau mis en œuvre.

4.3.2.1.1 ***Soufflage à la machine sur plancher plat***

Matériaux	Masse volumique en œuvre (ρ) kg/m^3	Tassement (s) Sans unité	Conductivité thermique utile (λ) W/(m.K)
Ouate de cellulose	30≤ρ≤45	0,30	0,046
Fibres de bois	20≤ρ≤40	0,35	0,051
Fibres de coton	10≤ρ≤20	0,35	0,055
Chanvre et lin	10≤ρ≤20	0,35	0,058
Laines minérales	10≤ρ≤25	0,05	0,056

4.3.2.1.2 ***Déversement manuel sur plancher plat***

Matériaux	Masse volumique en œuvre (ρ) kg/m^3	Tassement (s) Sans unité	Conductivité thermique utile (λ) W/(m.K)
Ouate de cellulose	60≤ρ≤80	0,30	0,049
Chanvre et lin	15≤ρ≤25	0,35	0,060
Laines minérales	30≤ρ≤60	0,05	0,065
Vermiculite : classe granulaire 0.5/5	80≤ρ≤110	0	0,085

4.3.2.1.3 ***Soufflage à la machine ou déversement manuel sur plancher à solives***

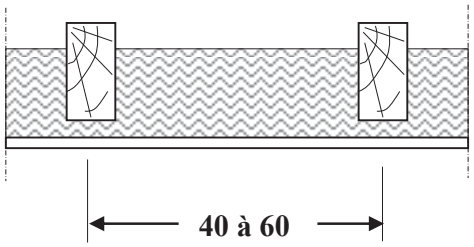


Figure 131 :

Le coefficient Up d'un plancher haut à solive isolé avec des matériaux en vrac, doit être calculé conformément au paragraphe 4.3.1.2.1 du présent fascicule en tenant compte des ponts thermiques intégrés induits par les solives de plancher.

Les valeurs de ponts thermiques intégrés doivent être déterminées numériquement conformément au fascicule – ponts thermiques.

4.3.2.2 *Produits réfléchissants*

Le coefficient de transmission thermique utile des parois intégrant un produit réfléchissant dépend des paramètres suivants :

- nature (à bulles, multicouches, etc.) et épaisseur du produit ;
- émissivités des deux faces et effet du vieillissement sur l'émissivité (dépôt de poussière, altération de la surface, etc.) ;
- nombre de lames d'air adjacentes au produit (0, 1 ou 2 lames d'air), leur étanchéité à l'air vis-à-vis de l'ambiance extérieure, la température moyenne de la lame d'air et la différence de température entre les faces en vis-à-vis ;
- sens du flux traversant la paroi (horizontal, vertical ascendant, vertical descendant) ;

– ponts thermiques intégrés générés par les systèmes de fixation du produit (agrafes, solives, etc.).

Nota : une attention particulière doit être portée lors de la mise en œuvre du produit pour éviter les risques de pathologies liés notamment à la dégradation de la charpente en bois.

À défaut de valeurs fournies dans les Avis Techniques, le coefficient de transmission surfacique utile U_p se calcule d'après la formule suivante :

$U_p = U_c + \Delta U$ (Formule 269) ;

où

U_c est le coefficient de transmission surfacique en partie courante en W/(m^2.K), déterminé selon la formule suivante :

$U_c = 1/(R_r + \sum R_L + R_p)$ (Formule 270) ;

où

R_r est la résistance thermique intrinsèque du produit réfléchissant, soit déterminée selon la norme EN 16012-A1 – Avril 2015, soit donnée dans une Évaluation Technique Européenne, soit dans un Avis Technique ou équivalent. En l'absence d'une justification selon les documents précédemment cités, elle est déterminée selon le tableau ci-après (interpolation possible) :

Tableau 75 : **Résistance thermique des produits réfléchissants en m^2.K/W**

	Épaisseur du produit réfléchissant (mm)				
Type	0	5	10	20	40
À bulles	0	0,06	0,10	0,20	0,48
Multicouches	0	0,10	0,20	0,40	0,80

R_L est la résistance thermique de la lame d'air L. À défaut de valeur calculée conformément à ce fascicule, R_L doit être déterminée selon le tableau ci-dessous (calculs effectués pour T_e = 0, T_i = 20 °C). Si l'émissivité utile n'est pas donnée dans un Avis Technique, prendre ε = 0,5 (si lame non ventilée) et $\varepsilon \geq 0,8$ (si lame faiblement ou fortement ventilée).

Tableau 76 : **Résistance thermique d'une lame d'air d'épaisseur minimale ≥ 2 cm intégrant une face peu émissive, en m^2.K/W**

Lame d'air	Émissivité	Flux horizontal	Flux vertical ascendant	Flux vertical descendant
Non ventilée	0,05	0,53	0,37	0,92
	0,1	0,47	0,34	0,74
	0,2	0,39	0,29	0,54
	0,5	0,34	0,21	0,31
	≥ 0,8	0,19	0,17	0,22
Faiblement ventilée	0,05	0,27	0,19	0,46
	0,1	0,24	0,17	0,37
	0,2	0,20	0,15	0,27
	0,5	0,17	0,11	0,16
	≥ 0,8	0,10	0,09	0,11

Fortement	$0 \leq \varepsilon \leq 1$	0,0
Note : interpolation linéaire possible pour des émissivités intermédiaires.		

R_p est calculée en ajoutant les résistances thermiques superficielles à la résistance thermique des parements et de l'isolation complémentaire éventuelle ;

ΔU est la majoration de U_C due à l'effet des ponts thermiques intégrés, en W/(m^2.K) :

$$\Delta U = \sum \psi_i / E_i + \sum n_i \chi_i \quad (\textit{Formule } 271) ;$$

où

ψ_i est le coefficient de transmission linéique du pont thermique intégré *i*, en W/(m.K) ;

χ_j est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré *j*, en W/K ;

E_i est l'entraxe entre ponts thermiques linéaires de type *i*, en m ;

n_j est la densité par mètre carré de paroi des ponts thermiques ponctuels.

En cas d'une ossature bois, et en absence de valeurs calculées de ψ_i et de χ_j prendre ΔU = 0,08 W/(m^2.K).

1 Exemples

1. Calcul d'un rampant intégrant un produit réfléchissant

Rampant de toiture incliné à 45 ° intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique de 0,05 sur la face intérieure et de 0,4 sur la face extérieure et aménageant deux lames d'air de 3 cm d'épaisseur chacune de part et d'autre du produit. La lame située côté intérieur est considérée comme non ventilée et celle côté extérieur est considérée comme fortement ventilée. La résistance thermique du parement intérieur est de 0,05 m^2.K/W.

$U_p = U_C + \Delta U$;

$U_C = 1/(R_r + \sum R_l + R_p)$;

R_r = 0,4 m^2.K/W ;

$R_{\text{lame intérieure}}$ = 0,37 m^2.K/W ;

$R_{\text{lame extérieure}}$ = 0,0 m^2.K/W ;

l

ΣR = 0,37 + 0,0 = 0,37 m^2.K/W ; R_p = 0,05 + R_{si} + R_{se} = 0,25 m^2.K/W (R_{se} = R_{si} = 0,1 m^2.K/W) ;

U_C = 0,98 W/(m^2.K) U_p = 0,98 + 0,08 = 1,1 W/(m^2.K).

2. Calcul d'un mur intégrant un produit réfléchissant

Un mur en béton intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique, de 0,05 sur les deux faces et aménageant deux lames d'air non ventilées de 3 cm d'épaisseur chacune, de part et d'autre du produit (cette configuration nécessite une mise en œuvre soignée). La résistance thermique du mur et du parement intérieur est de 0,25 m^2.K/W.

$U_p = U_c + \Delta U$;
$U_c = 1/(R_r + \Sigma R_L + R_p)$;
$R_r = 0,4\ m^2.K/W$;

$R_{lame\ intérieure} = 0,53\ m^2.K/W$;

$R_{lame\ extérieure} = 0,53\ m^2.K/W$;

$\Sigma R = 0,53 + 0,53 = 1,06\ m^2.K/W$ $R_p = 0,15 + R_{si} + R_{se} = 0,32\ m^2.K/W$ ($R_{se} + R_{si} = 0,17\ m^2.K/W$) ;

$U_c = 0,562\ W/(m^2.K)$ $U_p = 0,562 + 0,08 = 0,64\ W/(m^2.K)$.

I

5. FASCICULE « PONTS THERMIQUES »

5.1 Introduction

Ce fascicule décrit les principes de la méthode de calcul des ponts thermiques et contient des valeurs par défaut, calculées conformément à ladite méthode et aux normes correspondantes citées au § 5.3.

Les déperditions à travers les ponts thermiques linéaires se calculent en pondérant les coefficients linéiques par leurs linéaires correspondants déterminés à partir des dimensions intérieures des locaux.

Les déperditions à travers les ponts thermiques ponctuels se calculent en pondérant les coefficients ponctuels par leurs nombres respectifs.

De plus amples informations concernant la prise en compte des ponts thermiques sont données dans le chapitre « Généralités » des Règles Th-U.

5.1.1 DOMAINE D'APPLICATION

Le présent fascicule fournit les méthodes de calcul pour les ponts thermiques à prendre en compte dans le cadre d'un calcul réglementaire de consommation ou de confort d'été.

Il fournit des valeurs par défaut de ponts thermiques pour des configurations courantes qui peuvent être utilisées pour la caractérisation thermique des bâtiments neufs en l'absence d'un calcul précis réalisé conformément à la méthode générale donnée au §5.2.3.1 du présent fascicule.

5.1.2 REFERENCES NORMATIVES

- NF EN ISO 10211 : Ponts thermiques dans le bâtiment - Flux thermiques et températures superficielles - calculs détaillés.

- NF EN ISO 13370 : Performance thermique des bâtiments - transfert de chaleur par le sol - méthodes de calcul.

- NF EN ISO 6946 : Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul

5.1.3 DEFINITIONS, SYMBOLES ET INDICES

5.1.3.1 *Définitions*

Les définitions suivantes s'appliquent :

- **Flux thermique ϕ en W** : Quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps.
- **Densité surfacique (ou linéique) du flux thermique φ, en W/m^2 (ou W/m)** : Flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur).
- **Plancher bas** : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure.
- **Plancher intermédiaire** : Paroi horizontale donnant, sur ses faces inférieure et supérieure, sur des locaux chauffés.
- **Plancher haut** : Paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure.

- **Local chauffé** : Local dont la température normale en période d'occupation est supérieure à 12°C.
- **Liaisons périphériques** : Liaisons situées au pourtour d'un plancher donné.
- **Liaisons intermédiaires** : Liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'un plancher donné.
- **Coefficient linéique** ψ : Coefficient qui exprime les déperditions dues à un pont thermique linéaire en W par K, par mètre linéaire.
- **Coefficient ponctuel** χ : Coefficient qui exprime les déperditions dues à un pont thermique ponctuel en W par K.
- **Isolation par l'intérieur** : Isolation par une couche isolante appliquée du côté intérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe.
- **Isolation par l'extérieur** : Isolation par une couche isolante appliquée du côté extérieur sur une paroi verticale de l'enveloppe.
- **Isolation répartie :** Isolation assurée exclusivement par l'épaisseur de la partie porteuse de la paroi (ex : blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire).
- **Conductivité thermique équivalente :** Rapport de la résistance thermique d'une paroi sur son épaisseur, en W/(m.K)
- **Maçonnerie courante :** Maçonnerie couramment utilisée (à base de béton ou de terre cuite) de conductivité thermique équivalente $\lambda e \geq 0.7$ W/(m.K)
- **Maçonnerie isolante type a :** Maçonnerie à isolation répartie de conductivité thermique équivalente $\lambda e \leq 0.2$ W/(m.K)
- **Maçonnerie isolante type b :** Maçonnerie à isolation répartie de conductivité thermique équivalente $0.2 < \lambda e < 0.4$ W/(m.K)
- **Plancher en béton plein :** Dalle de béton ou plancher préfabriquée en béton plein avec prédalle.
- **Valeurs tabulées :** valeurs obtenues par application directe des méthodes et valables dans les plages de donnée d'entrée utilisées pour l'application des méthodes,
- **Valeurs par défaut :** valeurs sécuritaires à utiliser comme caractéristique thermique utile pour le bâtiment neuf ou rénové en absence de valeur déclarée et sans justification particulière,

5.1.3.2 *Symboles*

Symbole	Grandeur	Unité
ϕ	Flux thermique total à travers un système donné	W
φ	Flux thermique par unité de longueur	W/m
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m².K)
ψ	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
χ	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
T	Température	K
ΔT	Différence de température entre deux ambiances	K
R_{si}	Résistance thermique superficielle intérieure	m².K/W
R_{se}	Résistance thermique superficielle extérieure	m².K/W
λ	Conductivité thermique	W/(m.K)
A	Surface	m²
L	Longueur ou largeur	m
e	Epaisseur	m
h	Hauteur	m
z	Profondeur du sol extérieur par rapport au nu supérieur du plancher, compté négativement lorsque le plancher est plus bas que le sol et positivement dans le cas contraire	m
Rc	Résistance thermique de la correction isolante insérée entre le plancher sur terre plein et le mur	m².K/W
Rsc	Résistance thermique de la couche d'isolant sous chape flottante	m².K/W
d	Recouvrement de l'isolation sous plancher par l'isolation du mur, compté positivement vers le haut à partir de la face inférieure de l'isolant sous plancher	m
rp	Retombée de poutre	m
l_f	Largeur de la feuillure ou distance entre le fond de feuillure et le bord du tableau	cm
l_p	Largeur de la surface de contact entre le dormant de menuiserie et un refend traversant	cm
TC	Terre Cuite	
BC	Béton Cellulaire	
2D	Deux dimensions	
3D	Trois dimensions	
1D	Monodimentionnel	

5.1.3.3 *Indices*

i	Intérieur
e	Extérieur ou LNC
p	Plancher
m	Mur
r	Refend
c	chaînage
po	Poutre
f	Feuillure
C	Consommation
E	Confort d'été

5.2 Méthodes de calcul des ponts thermiques

5.2.1 DEFINITION DU PONT THERMIQUE

Un pont thermique est une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs uniforme, est modifiée de façon sensible par :

a - la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente comme par exemple les systèmes d'attaches métalliques qui traversent une couche isolante.

Et/ou

b - un changement local de l'épaisseur des matériaux de la paroi ce qui revient à changer localement la résistance thermique.

Et/ou

c - une différence entre les surfaces intérieure et extérieure, comme il s'en produit aux liaisons entre parois.

Les ponts thermiques entraînent des déperditions supplémentaires qui peuvent dépasser, pour certains bâtiments, 40 % des déperditions thermiques totales à travers l'enveloppe.

Un autre effet néfaste des ponts thermiques, souvent négligé, est le risque de condensation superficielle côté intérieur dans le cas où il y a abaissement des températures superficielles à l'endroit du pont thermique.

La norme NF EN ISO 10211 décrit la méthode de calcul des ponts thermiques et des températures superficielles intérieures.

5.2.2 TYPES DE PONTS THERMIQUES

Il existe principalement deux types de ponts thermiques :

1 - les ponts thermiques linéaires ou 2D caractérisés par un coefficient linéique ψ exprimé en W/(m.K) (exemple : liaison en partie courante entre un plancher et un mur extérieur).

La déperdition en W/K à travers un pont thermique linéaire se calcule en multipliant le coefficient linéique par son linéaire exprimé en mètre.

2 - les ponts thermiques ponctuels ou 3D caractérisés par un coefficient ponctuel χ exprimé en W/K (exemple : liaison entre un plancher et deux murs perpendiculaires de façade).

Le coefficient ponctuel exprime la déperdition en W/K à travers le pont thermique en question

5.2.3 PROCEDURE DE CALCUL

5.2.3.1 ***Calcul numérique des ponts thermiques***

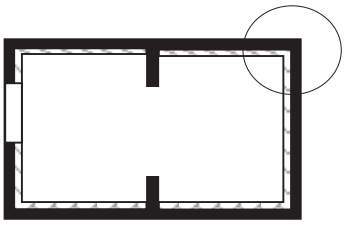
On se limite ici à une description succincte de la méthode de calcul numérique des coefficients de déperdition des ponts thermiques. Pour plus de détail se référer aux normes citées au § 5.1.2.

Le calcul d'un pont thermique conformément aux normes européennes nécessite l'utilisation de méthodes à résolution numérique comme les méthodes aux éléments finis ou aux différences finies.

Les programmes de calcul doivent être vérifiés conformément à l'annexe A de NF EN ISO 10211.

5.2.3.2 *La modélisation de la géométrie*

La modélisation du bâtiment dans son intégralité par un seul modèle est une opération lourde et coûteuse à la fois d'où l'idée de le diviser en plusieurs parties à l'aide de plans de coupe appropriés de telle manière qu'aucune différence n'existe entre le résultat du calcul sur les parties séparées du bâtiment et le bâtiment traité dans son ensemble.

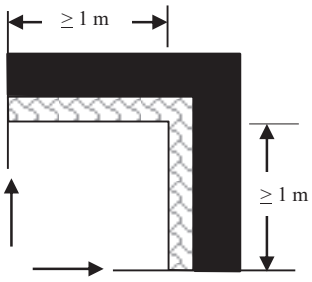


Vue en

Figure 132 :

Le modèle géométrique doit comprendre, en plus du pont thermique, son environnement proche comme les parties de parois voisines, limitées par des plans de coupe situés à l'abri des perturbations causées par le pont thermique.

La règle à suivre pour le choix des plans de coupe, est détaillée dans la norme NF EN ISO 10211.



Plans de modèle géométrique

Figure 133 :

5.2.3.3 *Le maillage*

Le modèle géométrique doit être discrétisé en petits éléments ou mailles dont la densité doit être d'autant plus forte qu'on s'approche du centre du pont thermique où la perturbation des lignes de flux est maximale. Dans cette zone et pour les détails constructifs du gros œuvre comme les liaisons entre parois du bâtiment, la dimension de la maille ne doit pas dépasser 25 mm.

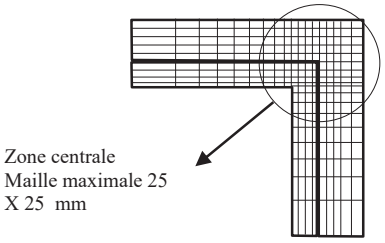


Figure 134 :

De plus amples informations, concernant les règles d'application d'un maillage correct, sont données dans la norme NF EN ISO 10211.

5.2.3.4 *Les caractéristiques thermiques des matériaux*

Cette étape consiste à attribuer des caractéristiques thermiques de matériaux à des ensembles de mailles ou d'éléments du modèle. Ces caractéristiques doivent être obtenues d'après le fascicule matériaux des Règles Th-Bat.

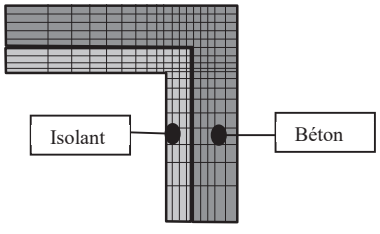


Figure 135 :

5.2.3.5 *Les conditions aux limites*

Les conditions aux limites sont de trois types :

a - Conditions aux limites de température
b - Conditions aux limites de flux
c - Conditions aux limites d'ambiance

Généralement les conditions aux limites les plus utilisées pour le calcul des ponts thermiques sont de type b et c et consistent à imposer une condition adiabatique (flux de chaleur nul) aux plans de coupe, et des températures d'ambiances Ti, Te avec des résistances superficielles R_{si}, R_{se} sur les surfaces exposées aux ambiances, chaude et froide.

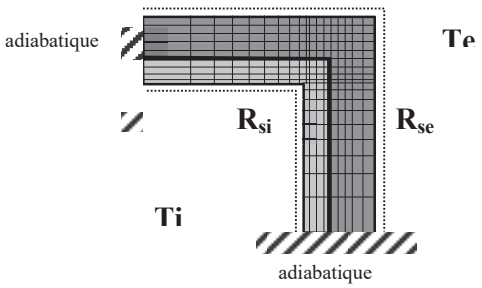


Figure 136 :

Le fascicule Généralités des règles Th-bat précise les valeurs des températures et des résistances superficielles à utiliser.

5.2.3.6 *Le calcul numérique et l'exploitation des résultats*

Une fois les étapes A, B, C, D accomplies, le calcul numérique peut être déclenché. Le résultat est généralement le flux de chaleur global relatif au modèle composé du (ou des) pont(s) thermique(s) et des parois voisines délimitées par les plans de coupe (voir exemples I et II).

Exemple I :

Cas d'une liaison d'angle entre le plancher d'un local et deux murs perpendiculaires donnant sur l'extérieur, le modèle géométrique 3D contient :

- *trois parois délimitées par trois plans de coupe (P1, P2 et P3)*
- *trois ponts linéaires situés à la jonction des parois (ψ1, ψ2 et ψ3)*
- *un pont thermique ponctuel situé à la jonction des trois parois (χ).*

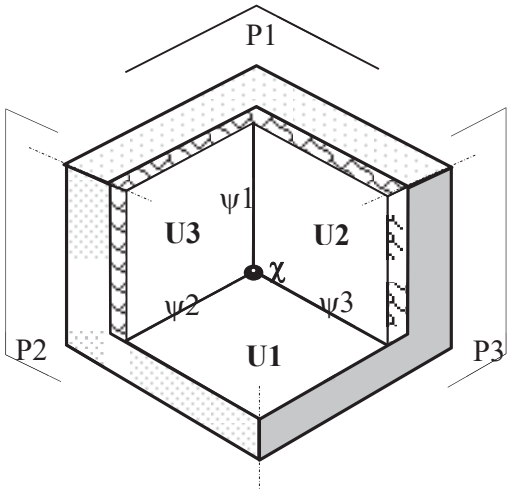


Figure 137 : modèle géométrique 3 D

Exemple II :

Cas d'une liaison d'angle de deux murs perpendiculaires d'un local, donnant sur l'extérieur, le modèle géométrique 2D contient :

- *deux murs délimités par deux plans de coupe (P2 et P3)*
- *un pont thermique linéaire situé à la jonction des deux murs (ψ1).*

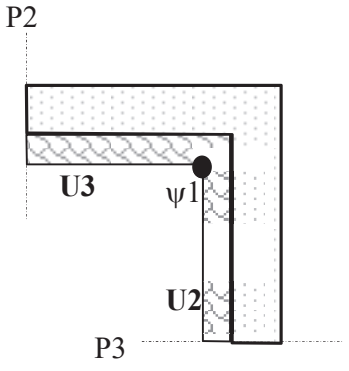


Figure 138 : modèle géométrique

Le principe de calcul d'un pont thermique donné consiste à calculer le flux thermique qui lui est associé comme étant la différence entre le flux total ϕ_T, obtenu par calcul numérique, et la somme des flux associés aux autres composants du modèle $\Sigma\phi_k$ obtenus soit par calcul numérique, soit par calcul manuel.

Le coefficient du pont thermique s'obtient en divisant le flux ainsi obtenu, par la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide ΔT.

E.1 – Cas où les flux $\Sigma\phi_k$ peuvent être déterminés séparément

Dans ce cas le pont thermique est le seul inconnu, il se calcule à partir du flux total ϕ_T d'après les formules (1) et (2) suivantes :

a - Pont thermique ponctuel en 3D :

$$\chi = \frac{\phi_T - \sum \phi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \chi = \frac{\phi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^{N} U_i A_i - \sum_{j=1}^{M} \psi_j L_j \quad \text{W/K} \quad (272)$$

où

χ est le coefficient ponctuel du pont thermique exprimé en W/K

ϕ_T est le flux total à travers le modèle 3D, exprimé en W

ΔT est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K

U_i est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en W/(m^2.K)

A_i est la surface intérieure sur laquelle s'applique la valeur Ui dans le modèle géométrique 3D, exprimée en m^2

N est le nombre des composants 2D

ψ_j est le coefficient linéique du pont thermique linéaire j calculé selon la formule (2) et exprimé en W/(m.K)

L_j est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur ψj dans le modèle géométrique 3D, exprimée en m

M est le nombre des ponts thermiques linéaires

b - Pont thermique linéaire en 2D :

$$\psi = \frac{\varphi_T - \sum \varphi_k}{\Delta T} \quad \text{donc} \quad \psi = \frac{\varphi_T}{\Delta T} - \sum_{i=1}^{N} U_i L_i \quad \text{W/(m.K)} \quad (273)$$

où

ψ est le coefficient linéique du pont thermique exprimé en W/(m.K)

φ_T est le flux total par mètre de longueur à travers le modèle 2D, exprimé en W/m

ΔT est la différence de température entre les deux ambiances chaude et froide, exprimé en K

Ui est le coefficient surfacique du composant i, exprimé en W/(m^2.K)

Li est la longueur intérieure sur laquelle s'applique la valeur Ui dans le modèle géométrique 2D, exprimée en m

N est le nombre des composants 1D

Les formules (1) et (2) supposent que les parois sont homogènes sur leurs surfaces pour qu'on puisse parler de coefficients surfaciques Ui.

Ces coefficients Ui doivent être calculés conformément au fascicule Parois opaques des règles Th-bat.

E.2 – Cas où les flux Σϕk ne peuvent pas être déterminés séparément

Dans ce cas, la méthode consiste à faire le calcul du flux selon deux configurations :

- la première est obtenue comme décrit dans les étapes A, B, C, D

- la seconde dérive de la première en supprimant l'effet du pont thermique, tout paramètre étant identique par ailleurs.

Le flux thermique dû au pont thermique seul se calcule comme étant la différence entre les deux flux ainsi calculés.

Cette méthode est généralement utilisée pour le calcul des liaisons entre composants à coefficient surfacique variable comme par exemple les planchers bas sur terre-plein. La norme NF EN ISO 13370 donne davantage de précisions sur les modalités de calcul.

F – Présentation des résultats

Les résultats doivent être impérativement accompagnés des justifications suivantes :

1 – le détail géométrique du modèle avec les dimensions et le positionnement des plans de coupe

2 – La densité du maillage, adoptée

3 – La conductivité thermique des matériaux (y compris la conductivité équivalente des espaces d'air)

4 – Les conditions aux limites de température et d'échanges superficiels

5 – Le flux thermique résultant

6– Eventuellement tout autre résultat intermédiaire.

5.2.3.7 *Conventions de calcul pour la prise en compte de la déviation du flux dans les lames d'air*

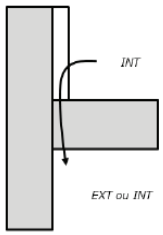
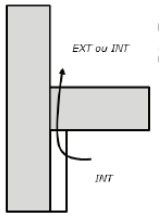
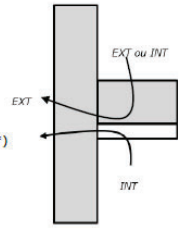
Ces valeurs ne s'appliquent pas aux calculs des coefficients des transmissions thermiques surfaciques U qui doivent être réalisés selon le fascicule « Parois opaques » des règles Th-bat.

Pour le calcul des ponts thermiques de liaison par méthode numérique, les conductivités thermiques équivalentes dans les lames d'air non ventilées données dans le tableau ci-après doivent être considérées.

Note 1 : ces valeurs doivent également être utilisées dans le cas de cavité d'air ou d'alvéoles débouchant sur des murs ou des planchers.

Note 2 : ces valeurs doivent être utilisées aussi bien dans le cas d'une continuité ou d'une discontinuité de la couche isolante située entre la lame d'air non ventilée et la paroi adjacente.

Note 3 : ces valeurs s'appliquent quelle que soit la position de la lame d'air dans la paroi.

	λ_{eq} en W/(m.K) de la lame d'air pour le calcul des ponts thermiques de liaison			
	$e_{lame} \leq 20\ mm$	$20\ mm < e_{lame} \leq 100mm$	$100\ mm < e_{lame} \leq 200mm$	$200\ mm < e_{lame} \leq 300mm$
Lame d'air verticale débouchant sur un plancher bas ou la face supérieure d'un plancher intermédiaire 	0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux horizontal	0.5 Ou calcul selon NF EN ISO 6946	1*	1*
Lame d'air verticale débouchant sur un plancher haut ou la face inférieure d'un plancher intermédiaire 	0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux horizontal	1*	1.5*	2*
Lame d'air horizontale débouchant sur un mur (**) 	0.12 Ou calcul selon NF EN ISO 6946 avec flux ascendant	1*	1.5*	2*

(*) La norme NF EN ISO 6946 ne s'applique pas.
(**) Ces valeurs s'appliquent à la fois dans le cas d'un flux ascendant ou descendant.
e_{lame} est l'épaisseur de la lame d'air en mm
λ_{eq} est la conductivité thermique équivalente de la lame d'air utilisée pour le calcul des ponts thermiques.

Tableau 77. Valeurs conventionnelles de conductivité thermique de lame d'air pour le calcul des ponts thermiques

Le pont thermique de liaison se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\Psi = \frac{\Phi_t}{\Delta T.\, l} - \sum_i U_i \,.\, L_i$$

Φ_t est le flux total traversant le modèle numérique, exprimé en W, calculé en tenant compte du λ_{eq} donné dans le Tableau 77 ou par une simulation thermique couplée solide-fluide ;
ΔT est la différence de température entre les ambiances extérieure et intérieure, exprimée en K ;
l est la profondeur du modèle, exprimée en m ;
U_i est le coefficient de transmission thermique surfacique de la paroi i impliquée dans la liaison, exprimé en W/(m².K). Dans le cas où une lame d'air non ventilée est présente dans la paroi i, le calcul de Ui doit tenir compte de sa résistance thermique calculée selon le fascicule « Parois opaques » des règles Th-Bat et norme NF EN ISO 6946 ;
L_i est la longueur de la paroi i, exprimée en m.

5.2.4 FACTEURS SOLAIRES

La définition du facteur de transmission solaire des ponts thermiques ne fait pas l'objet d'un contexte normatif spécifique. Le présent fascicule propose donc une méthode de calcul, basée sur le coefficient Ψ du pont thermique de la liaison considérés déterminées en condition C conformément à la méthode générale de calcul détaillé au §5.2.3.1 du présent document et aux normes associées.

Le facteur de transmission solaire d'un pont thermique est déterminé pour les conditions aux limites C et E. Il n'est pas fait de distinction entre les incidences directes du soleil, diffuse du ciel ou réfléchie par le sol, ni sur les composantes à l'intérieur des locaux : on ne considère qu'un facteur de transmission solaire global.

Le facteur solaire du pont thermique de liaison peut être négligé si $\psi_{l\text{-}C} \leq 0{,}08\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

Notes : les ponts thermiques intégrés aux parois opaques ne sont pas concernés par le présent paragraphe. Ils sont pris en compte dans le calcul du facteur solaire de la paroi considérée au travers de son coefficient de transmission thermique.

Le facteur de transmission solaire d'un pont thermique s'exprime en mètres.

PONTS THERMIQUES DE LIAISON AU DROIT D'UNE SURFACE PLANE

Le facteur solaire dépend du coefficient d'absorption de la surface plane au droit du pont thermique.

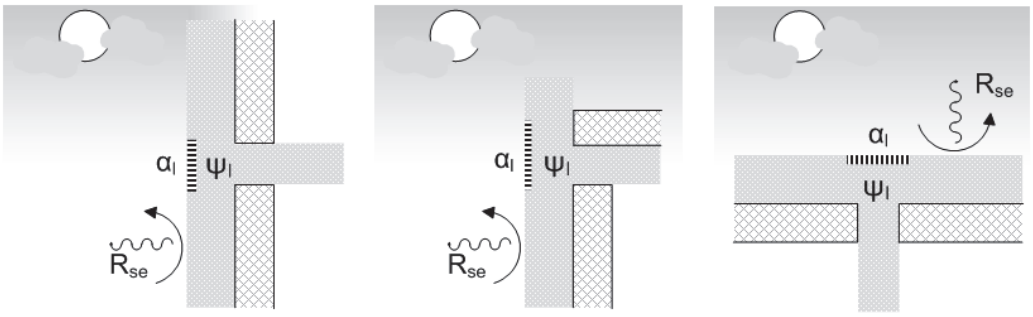


Figure 139 : ponts thermiques de liaison au droit d'une surface plane

Si la surface plane est une paroi végétalisée ou une surface en contact avec une lame d'air ventilée, le facteur de transmission solaire du pont thermique de liaison est négligé.

Les résultats sont calculés de la manière suivante :

$$S_{f-C,l} = a_l.\psi_{l-C}.R_{se-C}$$

$$S_{f-E,l} = a_l.\psi_{l-E}.R_{se-E} \qquad (274)$$

Où :

- a_l est le coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque au droit de la liaison, pouvant être déterminé par défaut selon le Tableau 78 ci-après :

Catégorie	Couleurs	Valeur de α_k par défaut
Clair	Blanc, jaune, orange, rouge clair	0,4
Moyen	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen	0,8
Noir	Noir, brun sombre, bleu sombre, gris sombre	1,0

Tableau 78: valeurs de α_k par défaut pour les parois opaques

- $\psi_{l\text{-}C}$ est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C.

$\psi_{l\text{-}E}$ est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions E, en $W.m^{-1}.K^{-1}$, qui peut être estimé par la relation suivante :

$$\frac{1}{\psi_{l-E}} = \frac{1}{\psi_{l-C}} - (R_{se-C} + R_{si-C}) + (R_{se-E} + R_{si-E}) \quad (275)$$

Où Rsi-C et Rsi-E sont les résistances thermiques superficielles intérieures (convection et rayonnement) (W/m².K), en conditions C et E, données dans le **Tableau 79** ci-après.

Inclinaison de la paroi β_k	$R_{si\text{-}C}$ ($m^2.K.W^{-1}$)	$R_{si\text{-}E}$($m^2.K.W^{-1}$)
0° (horizontale, flux ascendant)	0,10	0,10
90° (verticale)	0,13	0,13
180° (horizontale, flux descendant)	0,17	0,17

Tableau 79: résistances superficielles intérieures en conditions C et E

- $R_{se\text{-}C}$ et $R_{se\text{-}E}$ sont les résistances thermiques superficielles extérieures (convection et rayonnement) en conditions C et E prises égales à 0,04 m².K/W, exprimées en $m^2.K.W^{-1}$.

PONTS THERMIQUES DE LIAISON AU DROIT D'UN DEBORD

Le pont thermique peut se situer au droit d'un débord vertical (mur de refend) ou d'un débord horizontal (balcons, dépassement du plancher…).

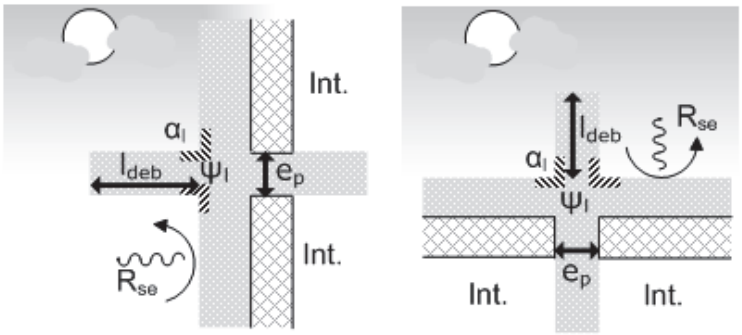


Figure 140 : ponts thermiques de liaison au droit d'un débord

Si la longueur du débord l_{deb} est inférieure à l'épaisseur du refend du mur e_p, on assimile la liaison au cas d'un pont thermique au droit d'une surface plane, et on applique l'équation (274).

Dans le cas contraire, on se réfère aux paragraphes suivants.

Pour un débord horizontal ou incliné à moins de 45° (paroi opaque d'inclinaison β_k comprise entre 45° et 135°), on considère que seule la partie supérieure du pont thermique est exposée au rayonnement. L'orientation et l'inclinaison du pont thermique sont celles de la paroi opaque verticale ou inclinée.

Pour un débord vertical ou incliné à plus de 45° (paroi opaque β_k comprise entre 0° et 45°), à un instant donné, seule une moitié du pont thermique (une face latérale du débord) est exposée au rayonnement. Le pont thermique doit être décomposé un deux sous-composants ponts thermiques, dont les orientations et inclinaisons sont celles des deux faces latérales du débord.

Dans tous les cas, les facteurs de transmission solaire du pont thermique sont déterminés par la relation suivante :

$$S_{f-C,l} = a_l . Rat_{p\,\sup} . \psi_{l-C} . R_{se-C}$$
$$S_{f-E,l} = a_l . Rat_{p\,\sup} \psi_{l-E} . R_{se-E} \qquad (276)$$

Où :

- $\psi_{l\text{-}C}$ et $\psi_{l\text{-}E}$ sont le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique en conditions C et E, déterminés pour le pont thermique dans son ensemble (ses deux parties) $W.m^{-1}.K^{-1}$.
- Rat_{psup} est la part des déperditions totales du pont thermique affecté à la partie considérée. Il s'agit de la partie supérieure pour un débord horizontal ou incliné à moins de 45°, et de l'une des deux parties latérales pour un débord vertical ou incliné à plus de 45°. Sa valeur peut être connue en se référant au fascicule Th-U associé aux ponts thermiques. En l'absence d'informations, la valeur de *0,5* peut être retenue par défaut.

PONTS THERMIQUES DE LIAISON EN ANGLE RENTRANT

Le pont thermique a la configuration suivante :

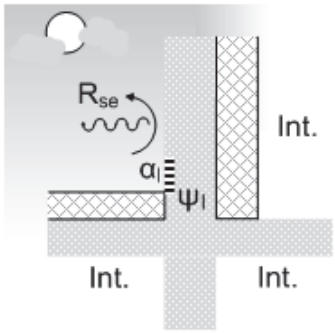


Figure 141 : pont thermique de liaison en angle rentrant

Les facteurs de transmission solaire sont calculés de manière identique à ceux d'un pont thermique au droit d'une surface plane équation (274). L'orientation et l'inclinaison du pont thermique sont ceux de la paroi opaque verticale sur laquelle est concentrée la déperdition (voir figure ci-dessus).

PAROIS ET PONTS THERMIQUES ENTERRES

Les apports solaires par les parties d'enveloppe enterrés, au travers du sol, peuvent être pris en compte au travers du facteur de transmission solaire d'un pont thermique équivalent.

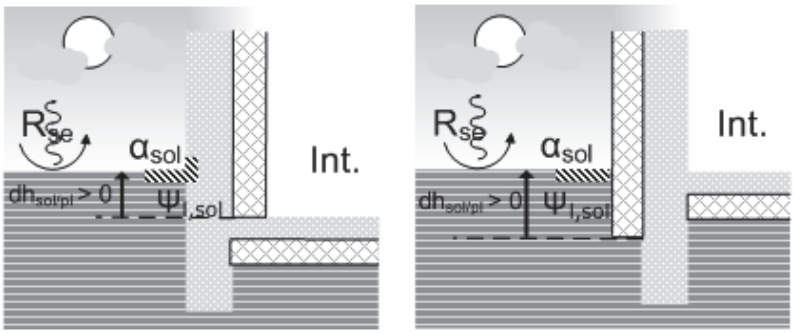


Figure 142 : paroi et pont thermique enterrés : prise en compte des apports solaires

On pourra négliger les apports solaires par le sol si la distance entre le plan extérieur du sol et la limite basse de l'isolant de la paroi verticale $dh_{sol/pl}$ est négative (niveau du sol extérieur inférieur à celui de l'isolant).

Les formules à employer sont les suivantes :

$$S_{f-C,l} = a_{sol} . \psi_{l,sol-C} . R_{se-C}$$

$$S_{f-E,l} = a_{sol} . \psi_{l,sol-E} . R_{se-E} \qquad (277)$$

- Où :
- a_{sol} est le coefficient d'absorption solaire du sol, pouvant être déterminé par défaut selon le Tableau 78,
- ψl,sol-C et ψl,sol-E (W.m-1.K-1) sont les coefficients de transmission thermique linéique de la fraction de paroi ou du pont thermique enterrés en prenant en compte l'épaisseur de sol, pour les conditions C et E. ψl,sol-C est déterminé selon les règles Th-U. ψl,sol-E peut être calculé à partir de ψl,sol-C via l'équation (275).

5.3 Valeurs par défauts des ponts thermiques

Parmi les détails constructifs pour lesquels des valeurs par défauts sont fournies, on distingue les liaisons entre parois acier et les liaisons entre parois maçonnées.

Les valeurs par défauts données ci-après peuvent être utilisées sans justification en l'absence d'une connaissance précise des épaisseurs des constituants de parois. Elles ont été déterminées à partir de la méthode générale de calcul détaillée au §2 sur la base d'hypothèses de calcul défavorables. Priment sur ces valeurs :

- Les valeurs calculées dans la configuration précise du pont thermique considéré, conformément à la méthode décrite au chapitre 2.
- Les valeurs qui figurent dans les avis techniques.

5.3.1 LEGENDE :

	Maçonnerie courante		**Béton**		**Isolation répartie**
	Isolant		**Entrevous béton ou terre cuite**		**Sol**

Symbole :

e	**extérieur**
i	**intérieur**
Inc	**local non chauffé**

Note 1 - La valeur moyenne de la transmission thermique linéique sur le pourtour du plancher fait intervenir plusieurs coefficients Ψ et dépend, de la dimension du plancher, de la position des poutrelles et de leurs entraxes.

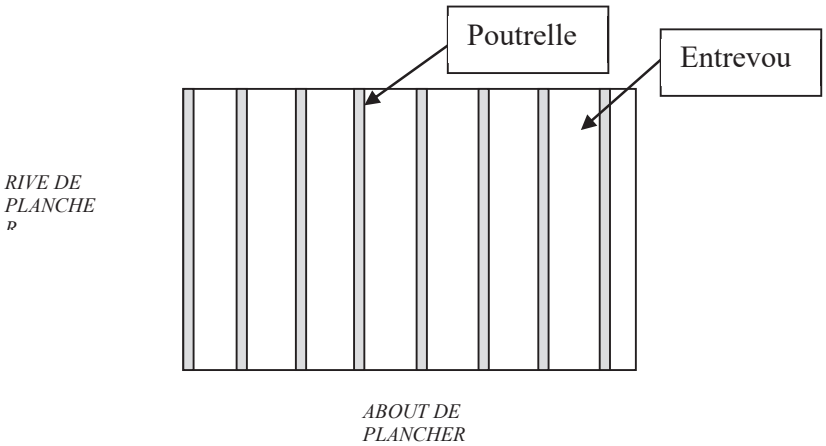


Figure 143 : Vue de dessus d'un plancher à entrevous en polystyrène

Le coefficient ψ_m du pont thermique moyen sur le pourtour du plancher se calcule selon la formule suivante :

$$\Psi_m = \frac{\psi_{about} \cdot L_{about} + \psi_{rive} \cdot L_{rive}}{L_{about} + L_{rive}} \qquad \text{en W/(m.K)}$$

Où

ψ_{about} est le pont thermique situé à la liaison entre le mur recevant l'extrémité des poutrelles et le plancher, exprimé en W/(m.K).

ψ_{rive} est le pont thermique situé à la liaison entre le mur parallèle aux poutrelles et le plancher, exprimé en W/(m.K).

L_{about} est le linéaire de la liaison entre le mur recevant l'extrémité des poutrelles et le plancher, exprimé en m.

L_{rive} est le linéaire de la liaison entre le mur parallèle aux poutrelles et le plancher, exprimé en m.

En l'absence d'information précise concernant les longueurs des linéaires, le calcul du coefficient ψ_m peut s'effectuer en admettant la convention forfaitaire de répartition à 60% de liaison en about et à 40% de liaison en rive selon la formule ci-après :

$$\Psi_m = 0{,}6 \cdot \psi_{about} + 0{,}4 \cdot \psi_{rive} \qquad \text{en W/(m.K)}$$

Le coefficient ψ_{about} peut être calculé numériquement sur la base d'un modèle géométrique en 3D selon la méthode générale décrite au chapitre II du présent fascicule ou sur la base des valeurs de ponts thermiques fournies dans le présent fascicule et calculées en 2D en appliquant la pondération forfaitaire suivante :

$$\psi_{about} = \frac{1}{3} \cdot \psi_{poutrelle} + \frac{2}{3} \cdot \psi_{entrevous} \qquad \text{en W/(m.K)}$$

Où

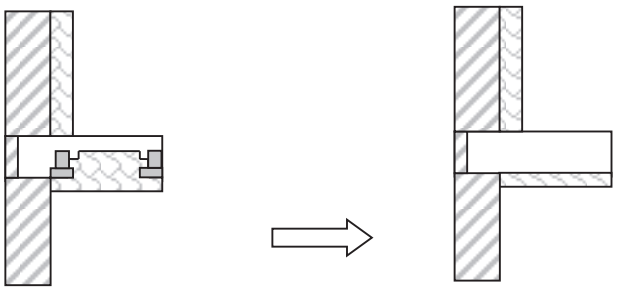
$\psi_{poutrelle}$ est la valeur du pont thermique fournie dans le présent fascicule pour une jonction avec un plancher en béton plein.

$\psi_{entrevous}$ est la valeur du pont thermique fournie dans le présent fascicule pour une jonction avec un plancher à entrevous PSE, exprimé en W/(m.K).

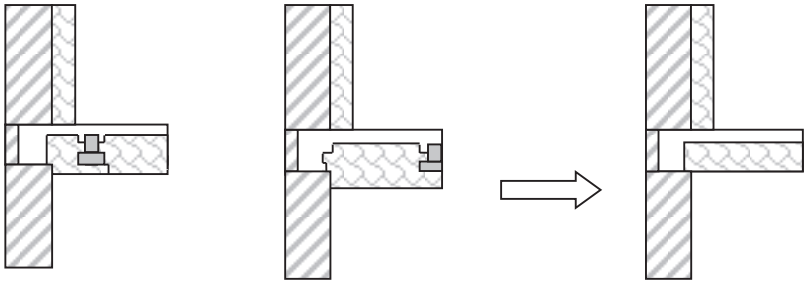
Note : Une alternative à l'utilisation des valeurs par défauts des coefficients $\psi_{poutrelle}$ et $\psi_{entrevous}$ consiste à effectuer un calcul numérique en 2D d'une coupe au niveau de la poutrelle et de l'entrevous puis d'appliquer la pondération forfaitaire pour le calcul de ψ_{about}. Dans ce cas, la coupe au niveau de la poutrelle sera choisie de manière à être sécuritaire (généralement au milieu de la poutrelle) et la coupe au niveau de l'entrevous sera prise au milieu de l'entrevous (dans la zone où la dalle de compression est la plus fine).

Le coefficient ψ_{rive} peut être calculé numériquement sur la base d'un modèle géométrique en 2D selon la méthode générale décrite au chapitre II du présent fascicule ou bien extrait des tableaux de valeurs fournis dans le présent fascicule en adoptant les conventions suivantes :

- Dans le cas d'un départ poutrelle en rive la valeur du pont thermique sera celle fournie dans le présent fascicule correspondant à une jonction avec un plancher en béton plein.



- Dans le cas d'un départ avec un demi-entrevous reposant sur le mur ou d'un entrevous complet en appui sur le mur, la valeur du pont thermique sera celle fournie dans le présent fascicule correspondant à une jonction avec un plancher à entrevous en PSE.

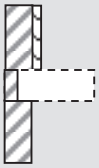
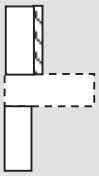
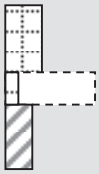
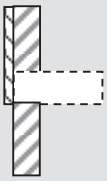
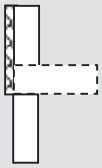
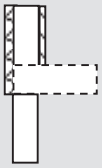
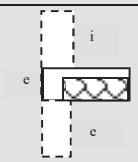
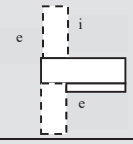
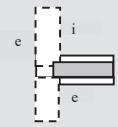
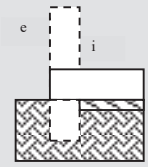
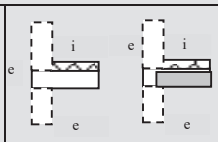
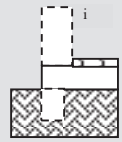


Note : l'ensemble des valeurs des ponts thermiques de plancher à entrevous PSE fournies ci-après ont été calculée sur la base d'une épaisseur de dalle de compression de 5 cm.

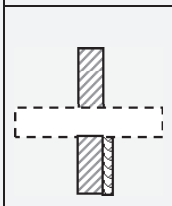
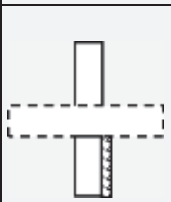
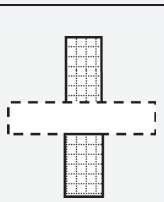
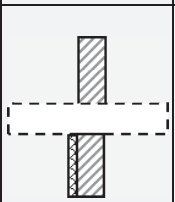
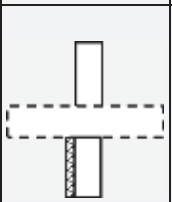
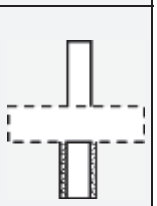
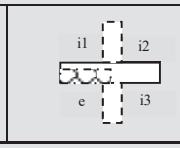
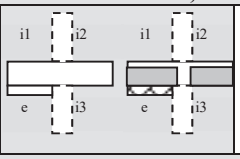
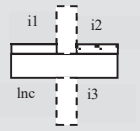
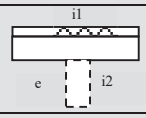
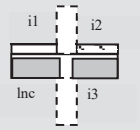
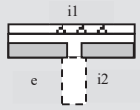
5.3.1.1 *Liaisons courantes avec un plancher bas*

Il s'agit de liaisons entre un plancher bas et les autres parois du bâtiment. Elles peuvent être soit des liaisons périphériques soit des liaisons intermédiaires.

5.3.1.1.1 ***Liaison plancher bas/mur***

Mur / Plancher bas		A	B	C	D	E	F
		Isolation par l'intérieur		Isolation répartie	Isolation par l'extérieur		Isolation mixte (1)
		Maçonnerie	Béton		Maçonnerie	Béton	Béton
							
Planchers bas à entrevous isolant							
1		0,32	0,35	0,30	0,47	0,74	0,52
Planchers bas en béton ou à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face							
2		0,72	0,84	0,58	0,49	0,79	0,70
3		0,61	0,72	0,55	0,47	0,76	0,63
4		0,65	0,76	0,50	0,31	0,49	0,44
Planchers bas en béton ou à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape							
5		0,18	0,21	0,12	0,38	0,70	0,45
6		0,22	0,25	0,12	0,25	0,35	0,24

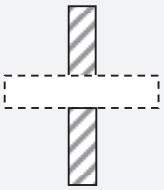
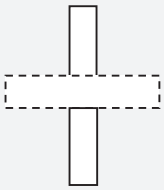
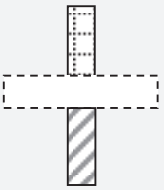
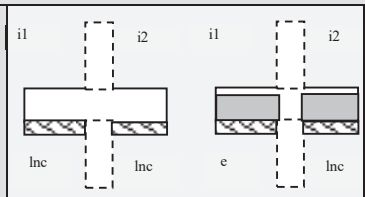
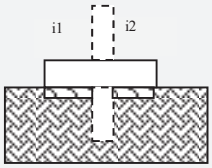
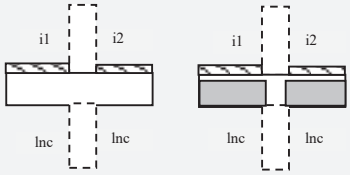
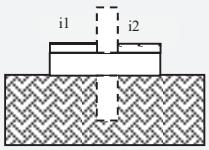
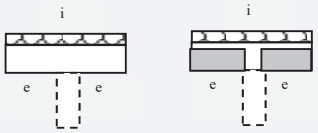
5.3.1.2.1 ***Liaison plancher bas/mur - refend***

Mur / Plancher bas		A	B	C	D	E	F
		Isolation par l'intérieur		Isolation répartie	Isolation par l'extérieur		Isolation mixte (1)
		Maçonnerie	Béton		Maçonnerie	Béton	Béton
							
Planchers bas à entrevous isolant							
7		**0,45** $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0.1\Psi$	**0,75** $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0.1\Psi$	**0,10** $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.55\Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0** $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0** $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0,18** $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0$
Planchers bas en béton, ou à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face							
8		**0,39** $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ $\Psi_3 = 0.10\Psi$	**0,75** $\Psi_1 = 0.45\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$ $\Psi_3 = 0.10\Psi$	**0,10** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0** $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0** $\Psi_1 = 0$ $\Psi_2 = \Psi$ $\Psi_3 = 0$	**0,16** $\Psi_1 = 0.4\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0$
Planchers bas en béton, ou à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape							
9 (2)		**0,70** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	**0,95** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,70** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	**0,49** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,57** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,62** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$
10		**0,65** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,74** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,65** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,56** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$	**0,62** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$	**0,52** $\Psi_1 = 0.15\Psi$ $\Psi_2 = 0.85\Psi$
11 (2)		**0,61** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	**0,85** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,61** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	**0,40** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,45** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.3\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	**0,46** $\Psi_1 = 0.25\Psi$ $\Psi_2 = 0.40\Psi$ $\Psi_3 = 0.35\Psi$
12		**0,46** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,54** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,46** $\Psi_1 = 0.2\Psi$ $\Psi_2 = 0.8\Psi$	**0,52** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$	**0,56** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$	**0,53** $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.9\Psi$

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

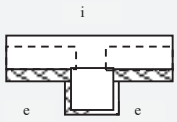
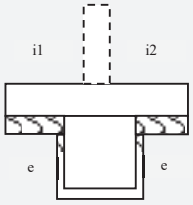
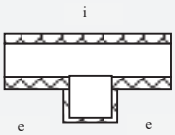
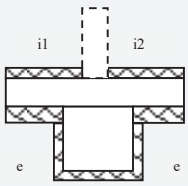
(2) Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

5.3.1.3 *Liaison plancher bas / refend*

Refend / Plancher bas		A Maçonnerie	B Béton	C Isolation répartie
				
Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolant				
13 (1)		**0,43** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,76** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,43** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
14		**0,24** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,37** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,24** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés sous chape				
15 (1)		**0,49** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,80** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,12** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
16		**0,30** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,37** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$	**0,10** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
17		**0**	**0**	**0**

(1) Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

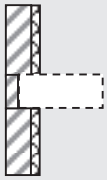
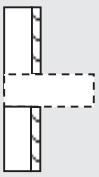
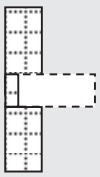
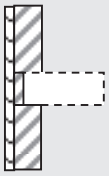
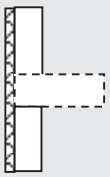
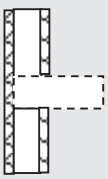
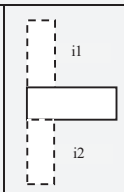
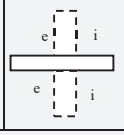
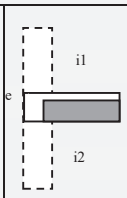
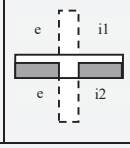
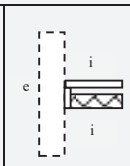
5.3.1.3.1 ***liaison plancher bas/poutres à retombée isolées sur 3 faces****

<table>
<tr><td colspan="2">refend
Plancher bas</td><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr>
<tr><td colspan="5">Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolants <u>sans refend dans le prolongement de la poutre</u></td></tr>
<tr><td>18</td><td> 
</td><td colspan="3">0,86</td></tr>
<tr><td colspan="5">Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite isolés en sous face ou à entrevous isolants <u>avec refend dans le prolongement de la poutre</u></td></tr>
<tr><td rowspan="2">19</td><td rowspan="2"> 
</td><td colspan="3">refend</td></tr>
<tr><td>Maçonnerie courante</td><td>Béton</td><td>Isolation répartie</td></tr>
<tr><td colspan="5">0,88
$\Psi_1 = 0.50\Psi$
$\Psi_2 = 0.50\Psi$</td></tr>
<tr><td colspan="5">Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite ou entrevous isolants isolés sous chape ($0,5 \leq R_{sc} \leq 1$ (m²,K)/W) et en sous face ($R_i \geq 2$ (m²,K)/W) <u>sans refend dans le prolongement de la poutre</u></td></tr>
<tr><td>20</td><td> 
</td><td colspan="3">0,46</td></tr>
<tr><td colspan="5">Planchers bas en béton, à entrevous béton ou terre cuite ou entrevous isolants isolés sous chape et en sous face <u>avec refend dans le prolongement de la poutre</u></td></tr>
<tr><td rowspan="3">21</td><td rowspan="3"> 
</td><td colspan="3">Refend</td></tr>
<tr><td>Maçonnerie courante</td><td>Béton</td><td>Isolation répartie</td></tr>
<tr><td>0,57
$\Psi_1 = 0.50\Psi$
$\Psi_2 = 0.50\Psi$</td><td>0,61
$\Psi_1 = 0.50\Psi$
$\Psi_2 = 0.50\Psi$</td><td>0,57</td></tr>
</table>

*dans le cas d'une poutre à retombée sans isolation Ψ=1,5 W/(m.K)

5.3.1.4 *Liaisons courantes avec un plancher intermédiaire*

Il s'agit de liaisons entre un plancher intermédiaire et les autres parois du bâtiment. Ces liaisons ne peuvent être que des liaisons périphériques.

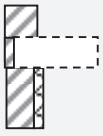
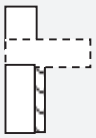
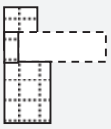
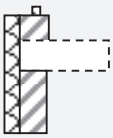
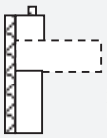
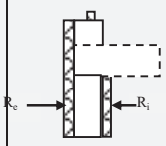
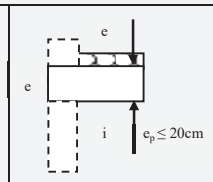
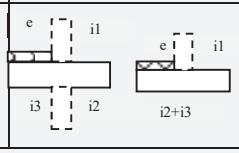
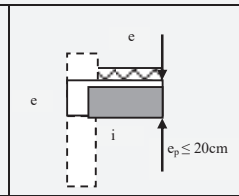
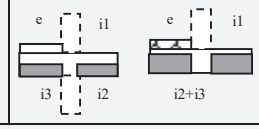
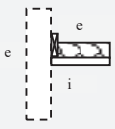
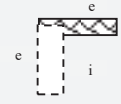
		A	B	C	D	E	F
Mur / Plancher		Isolation par l'intérieur		Isolation répartie	Isolation par l'extérieur		Isolation mixte (1)
		Maçonnerie	Béton		Maçonnerie	Béton	Béton
							
Béton							
22		**0,96** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**1,14** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,50** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,27** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
23		**0,96** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**1,14** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,91** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,98** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**1,20** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,98** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
Entrevous béton ou terre cuite							
24		**0,80** $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$	**0,99** $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$	**0,45** $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,25** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
25		**0,86** $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$	**1.00** $\Psi_1 = 0.52\Psi$ $\Psi_2 = 0.48\Psi$	**0,86** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,98** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**1,20** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,98** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$
Léger							
26		**0,19** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,22** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,13** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,13** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,13** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,20** $\Psi_1 = 0.5\Psi$ $\Psi_2 = 0.5\Psi$

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.5 *Liaisons courantes avec un plancher haut*

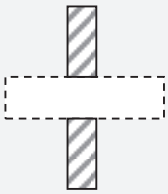
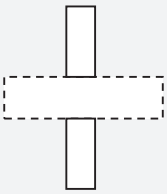
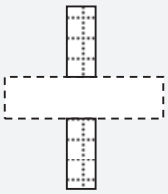
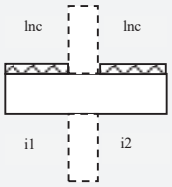
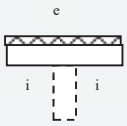
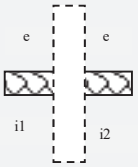
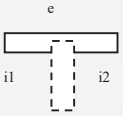
5.3.1.5.1 *Liaison plancher haut/mur*

Il s'agit de liaisons entre un plancher haut et les autres parois du bâtiment. Elles peuvent être soit des liaisons périphériques soit des liaisons intermédiaires.

Mur / Plancher haut		A	B	C	D	E	F
		Isolation par l'intérieur		Isolation répartie	Isolation par l'extérieur		Isolation mixte (1)
		Maçonnerie	béton		Maçonnerie	béton	béton
							
Béton isolé au dessus							
27		0,81	0,95	0,58	0,5	0,74	0,65
28		0,50 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	0,90 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	0,10 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	0,03	0,03	0,18 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.6\Psi$ $\Psi_3 = 0.4\Psi$
Entrevous béton ou terre cuite isolés au-dessus							
29		0,70	0,81	0,55	0,73	0,70	0,59
30		0,50 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	0,90 $\Psi_1 = 0.1\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.5\Psi$	0,10 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.4\Psi$ $\Psi_3 = 0.6\Psi$	0,03	0,03	0,18 $\Psi_1 = 0\Psi$ $\Psi_2 = 0.55\Psi$ $\Psi_3 = 0.45\Psi$
Léger							
31		0,07	0,08	0,11	0,31	0,66	0,36
32		0,04	0,05	0,03	0,05	0,06	0,06

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.5.2 ***Liaison plancher haut/refend***

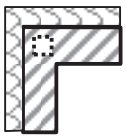
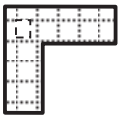
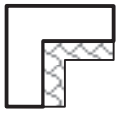
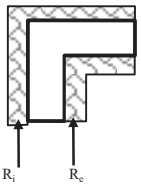
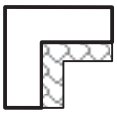
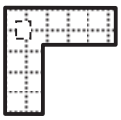
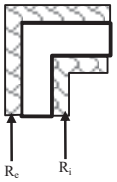
Refend / Plancher		A Maçonnerie	B Béton	C Isolation répartie
				
Béton, entrevous béton ou terre cuite isolé au-dessus				
33 (1)		**0,42** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,87** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,10**
34		**0**	**0**	**0**
Léger				
35		**0,38** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,88** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,15** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$
36		**0,05** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,05**	**0,05** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$

(1) Dans le cas de parois donnant sur l'extérieur, les valeurs de Ψ doivent être majorées de 30%.

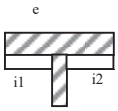
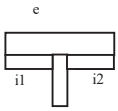
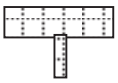
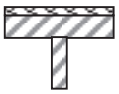
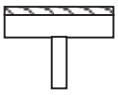
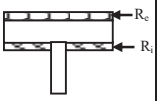
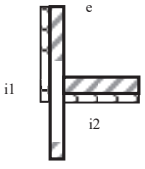
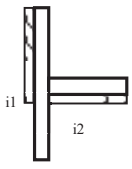
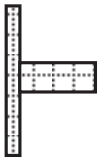
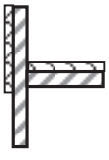
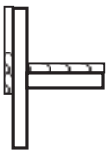
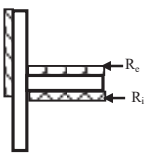
5.3.1.6 *Liaisons courantes entre parois verticales*

Il s'agit de liaisons mur - mur ou mur – refend.

5.3.1.6.1 *Liaison Mur/mur*

Angle	Mur	A Isolation par l'intérieur Maçonnerie	B Isolation par l'intérieur Béton	C Isolation répartie	D Isolation par l'extérieur	E Isolation mixte (1)
37	Rentrant			 Avec ou sans chaînage		 R_i R_e
		0,18	**0,21**	**0,10**	**0,03**	**0,07**
38	Sortant	 Avec ou sans chaînage		 Avec ou sans chaînage		 R_e R_i
		0,02	**0,02**	**0,10**	**0,18**	**0,12**

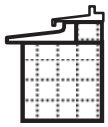
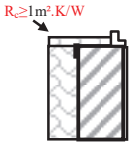
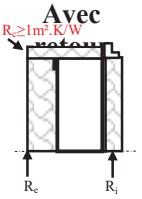
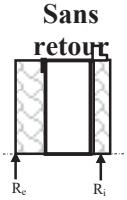
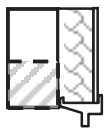
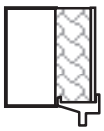
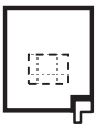
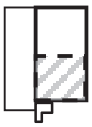
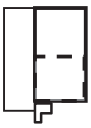
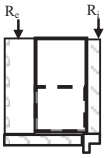
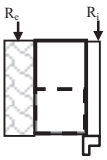
5.3.1.6.2 *Liaison mur/refend*

Refend	Mur	A Isolation par l'intérieur Maçonnerie	B Isolation par l'intérieur Béton	C Isolation répartie	D Isolation par l'extérieur Maçonnerie	E Isolation par l'extérieur Béton	F Isolation Mixte (1) Béton
39	Intérieur	 e i1 i2	 e i1 i2				 R_e R_i
		0,41 $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,99** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,08** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,11** $\Psi_1 = 0.50\Psi$ $\Psi_2 = 0.50\Psi$	**0,21** $\Psi 1 = 0.50\Psi$ $\Psi 2 = 0.50\Psi$
40	Mur sur décroché	 e i1 i2	 i1 i2				 R_e R_i
		0,36 $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$	**0,87** $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$	**0,12** $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$	**0,36** $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$	**0,87** $\Psi_1 = 0.55\Psi$ $\Psi_2 = 0.45\Psi$	**0,74** $\Psi 1 = 0.55\Psi$ $\Psi 2 = 0.45\Psi$

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

5.3.1.7 *Liaisons courantes entre menuiserie et parois opaques*

Il s'agit de liaisons entre la menuiserie des fenêtres, portes, ou porte - fenêtres avec les murs, les refends ou les toitures de l'enveloppe.

	A	B	C	D	E	F	G
Mur	Isolation par l'intérieur		Isolation répartie	Isolation par l'extérieur		Isolation mixte (1)	
Menuiserie	Maçonnerie	Béton		Maçonnerie	Béton	Béton	
En appui							
41	 **0,07**	 **0,06**	 **0,24**	 **0,25 (0,54 sans retour)**	 **0,42 (1,0 sans retour)**	 **0,19**	 **0,51**
En tableau ou linteau							
42	 **0**	 **0**	 **0,10**	 **0,05**	 **0,04**	 **0,14**	 **0,45**

(1) Valeurs applicables pour $\frac{1}{4} \leq \frac{R_i}{R_e} \leq \frac{2}{3}$

6. FASCICULE « INERTIE »

CHAPITRE I

6.1 Introduction

L'inertie thermique est une donnée des méthodes pour l'application des réglementations thermiques pour déterminer le besoin bioclimatique, la consommation d'énergie et apprécier l'exposition à l'inconfort thermique en période chaude d'un bâtiment ou d'une partie du bâtiment.

On distingue 3 types d'inertie thermique :

- **l'inertie quotidienne** pour caractériser l'amortissement de l'onde quotidienne de température et d'ensoleillement en saison chaude ainsi que pour caractériser le taux de récupération des apports de chaleur en hiver (période de 24 h) ;
- **l'inertie séquentielle** pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température. Elle permet la prise en compte de l'inertie lors des séquences de chaleur en été. L'onde de température extérieure prise en compte de manière conventionnelle a une période de 14 jours ;
- **l'inertie annuelle** pour caractériser l'amortissement de l'onde annuelle de température (période de 365 jours).

Les présentes règles offrent à l'utilisateur trois façons de déterminer les paramètres nécessaires à la prise en compte des inerties selon le niveau de détail disponible pour le projet :

- Le chapitre 2 propose une méthode forfaitaire. Pour la mettre en œuvre il convient d'identifier les parois lourdes d'un local,
- le chapitre 3 propose une méthode de calcul qui s'appuie sur la norme NF EN ISO 13786,
- le chapitre 4 donne la méthode de détermination des points d'inertie destinée à faciliter la prise en compte de l'inertie pour des types de parois courantes. Elle permet notamment de prendre en compte des parois courantes qui sont exclues du domaine d'application de la norme du fait de leur composition et pour laquelle la méthode forfaitaire conduit à une approche trop conservatrice.

6.1.1 LES COEFFICIENTS DE L'INERTIE THERMIQUE

Ils dépendent des caractéristiques des parois. Ils permettent de quantifier les impacts de l'inertie quotidienne, séquentielle et annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment. L'inertie de chaque période est caractérisée par deux paramètres :

- la capacité thermique surfacique exprimée en kJ/(m²K), notée C_{m_surf},
- la surface d'échange équivalente exprimée en m²/m², notée A_{m_surf}, qui permet une agrégation des capacités thermiques intrinsèques des parois à travers leur surface active.

Les présentes règles permettent d'accéder à ces paramètres soit à partir du calcul soit en déterminant la classe d'inertie du bâtiment considéré. Ils sont utilisés comme données d'entrée dans les méthodes pour l'application des réglementations thermiques. Ainsi pour effectuer les calculs réglementaires il est nécessaire, pour l'utilisateur, de renseigner les paramètres suivants :

Inertie	Paramètre	Définition (unité)
Quotidienne	C_{mq_surf}	Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m²K))
	A_{mq_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie quotidienne (m²/m²)
Séquentielle	C_{ms_surf}	Capacité thermique séquentielle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m²K))
	A_{ms_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie séquentielle (m²/m²)
Annuelle	C_{ma_surf}	Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré (kJ/(m²K))
	A_{ma_surf}	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie annuelle (m²/m²)

Tableau 80 : Résultats d'application de la méthode inertie

Remarque :
Les valeurs de C_{mq_surf}, C_{ms_surf}, C_{ma_surf} et de A_{mq_surf}, A_{ms_surf}, A_{ms_surf} viennent renseigner les méthodes où elles seront multipliées à $A_{bât}$, la surface utile du bâtiment ou d'une partie de bâtiment, exprimée en m². Les produits des valeurs surfaciques avec la surface utile sont appelés respectivement C_{mq}, C_{ms}, C_{ma} et A_{mq}, A_{ms}, A_{mq} variables internes des méthodes d'application des réglementations thermiques.

6.1.2 REFERENCES NORMATIVES

Les versions des normes suivantes en vigueur à la date de publication de ce document s'appliquent :

Normes de calculs

NF EN ISO 13786 Performance thermique des composants de bâtiment-caractéristiques thermiques dynamiques méthodes de calcul.

NF EN ISO 6946 Composants et parois de bâtiments Résistance thermique et coefficient de transmission thermique Méthode de calcul.

Normes produits

NF P 13304 Briques en terre cuite destinées à rester apparentes.

NF EN 771-3 Spécifications pour éléments de maçonnerie —Partie 3 : Éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)

Au préalable, la position du texte, par rapport au panorama normatif et aux méthodes d'application des réglementations thermiques, est rappelée. Cette articulation des textes est la

conséquence de la représentation simplifiée, des phénomènes physiques mis en jeu lors d'un transfert de chaleur dans une ambiance, qui superpose un état stationnaire et un correctif dynamique. Selon le même principe, les méthodes réglementaires actuelles sont une représentation simplifiée des phénomènes de transferts de chaleur mis en jeu dans un bâtiment. Elle distingue les échanges de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur et leurs interactions avec l'ambiance selon que :

- Les échanges se font directement par transfert de masse entre l'intérieur et l'extérieur ou avec les autres locaux en contact aéraulique.
- Les échanges se font par convection, conduction et rayonnement à travers les parois transparentes selon un régime établi sur le pas de temps utilisé, en l'occurrence une heure. Dans ce cas les sollicitations thermiques de la paroi ont des variations plus lentes que l'établissement d'un flux de chaleur constant dans la paroi séparant deux ambiances. Le régime est considéré établi.
- Les échanges par les parois opaques se font par convection, conduction et rayonnement selon un régime transitoire. Il convient donc d'intégrer une variation dynamique du flux de chaleur en fonction du temps qui vient corriger le calcul en régime établi.

Chaque paroi, selon ses caractéristiques physiques et géométriques, va réagir plus ou moins rapidement à une variation des conditions thermiques de l'ambiance ou de l'environnement avec lesquels elle est en contact. Pour tenir compte des réactions de la paroi à des sollicitations thermiques de fréquences quotidiennes, séquentielles et annuelles, il convient de déterminer ces caractéristiques thermiques dynamiques.

L'approche des règles Th-Bat méthode inertie est issue de la norme NF EN ISO 13786 « Performance thermique des composants de bâtiment - Caractéristiques thermiques dynamiques - Méthodes de calcul». Cette norme définit les caractéristiques relatives à l'inertie thermique d'éléments de bâtiments constitués d'une ou plusieurs couches planes de matériaux homogènes. La capacité thermique d'une paroi est exprimée en Joule par Kelvin (J/K) et non en kilogramme (kg).

Cette approche permet une prise en compte plus fine du phénomène transitoire que l'approche par la « masse utile » (« masse utile » = masse limitée à 150 kg/m2 de paroi en inertie quotidienne). En effet, les différentes couches qui constituent la « masse utile » ne sont pas soumises à la même sollicitation thermique : les premières couches de la face interne de la paroi possèdent ainsi une « masse » plus active que les couches plus profondes de la paroi. De plus, la caractérisation du phénomène transitoire est basée sur la profondeur de pénétration périodique de l'onde thermique : les matériaux à chaleur volumique forte (matériaux denses) possèdent, à masse égale, une capacité thermique supérieure à celle des matériaux à plus faible chaleur volumique. Enfin, la caractérisation de l'inertie d'un local prend en compte, non seulement les caractéristiques intrinsèques de chaque paroi, mais aussi la combinaison des effets de chaque paroi à travers leur surface d'échange avec le local : un ensemble de parois à caractéristiques thermiques identiques offre globalement plus d'efficacité qu'un ensemble hétérogène de parois, où les temps de réponse de chaque paroi sont différents. Ainsi, un local qui possède une « masse utile » répartie sur l'ensemble de ses parois possède une inertie plus forte qu'un local où cette même « masse utile » est concentrée sur un plus petit nombre de parois. L'approche par points d'inertie, présentée à la fin de ce document, a été bâtie avec ces éléments, pour offrir une méthode simple d'emploi et adaptée à la conception pour les parois les plus courantes.

Cependant cette norme est relative à une paroi alors que dans le cadre réglementaire l'inertie est calculée à l'échelle du bâtiment ou d'une partie du bâtiment. Les présentes règles proposent, d'une part, des valeurs et des méthodes pour déterminer la surface d'échange équivalente des parois opaques de la partie de bâtiment considérée, d'autre part, les capacités thermiques surfaciques, qui sont le résultat de l'application de cette norme. Pour obtenir cette dernière valeur, la norme NF EN ISO 13786 a été appliquée en considérant certaines hypothèses :

- les effets de la résistance d'échange superficielle intérieure ne sont pas à prendre en compte car ils sont déjà intégrés dans les méthodes d'application des réglementations thermiques ;

- la méthode simplifiée proposée en annexe A normative est utilisée ;

- l'inertie d'un bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée à partir de l'inertie de chacun des niveaux du bâtiment ou de la zone considérée. Pour chaque niveau, les ouvrages pris en compte sont les éléments intérieurs aux parties chauffées au sens des méthodes d'application des réglementations thermiques.

L'inertie d'un ensemble de locaux est celle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne. Un niveau est plus défavorisé qu'un autre si la classe d'inertie est plus faible.

6.1.3 NOMENCLATURE

Nom	Unité	Description
A	m²	Surface de paroi, déduction faite des baies
$A_{bât}$	m²	Surface utile du bâtiment ou de la partie de bâtiment considérée
A_{loc}	m²	Taille moyenne des locaux définie de manière implicite
A_{niv}	m²	Surface utile du niveau étudié
A_{ma}	m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie annuelle
A_{mq}	m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie quotidienne
A_{ms}	m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance au sens de l'inertie séquentielle
A_{ma_surf}	m²/m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie annuelle
A_{mq_surf}	m²/m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie quotidienne
A_{ms_surf}	m²/m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment considéré au sens de l'inertie séquentielle
A_{m_surf}	m²/m²	Surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance ramenée à la surface utile du bâtiment ; paramètre générique prend une valeur concrète dès lors qu'on lui ajoute un indice a, q ou s respectivement pour annuelle, quotidienne ou séquentielle
C_{ma}	kJ/K	Capacité thermique annuelle du groupe
C_{mq}	kJ/K	Capacité thermique quotidienne du groupe
C_{ms}	kJ/K	Capacité thermique séquentielle du groupe
C_{ma_surf}	kJ/(m²K)	Capacité thermique annuelle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré
C_{mq_surf}	kJ/(m²K)	Capacité thermique quotidienne ramenée à la surface utile du bâtiment considéré
C_{ms_surf}	kJ/(m²K)	Capacité thermique séquentielle ramenée à la surface utile du bâtiment considéré
C_{m_surf}	kJ/(m²K)	Capacité thermique ramenée à la surface utile du bâtiment considéré ; paramètre générique prend une valeur concrète dès lors qu'on lui ajoute un indice a, q ou s respectivement pour annuelle, quotidienne ou séquentielle
E	cm	Epaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à une couche isolante
R_{inf}	m².K/W	Résistance thermique limite en dessous de laquelle les revêtements sont considérés comme sans effet thermique
χ_a	kJ/(m².K)	Capacité thermique surfacique annuelle de la paroi
χ_j	kJ/(m².K)	Capacité thermique surfacique quotidienne de la paroi
χ_s	kJ/(m².K)	Capacité thermique surfacique séquentielle de la paroi

Tableau 81 : Nomenclature

6.1.4 DEFINITIONS

Les définitions suivantes sont applicables à l'ensemble de ce document :

- La **surface utile** d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est la surface habitable pour les logements et la surface utile, au sens de l'annexe I du présent arrêté, pour les autres bâtiments.

- Un plancher en ***« béton plein »*** est un plancher constitué de dalles de béton ou d'éléments préfabriqués pleins en béton à base d'agrégats lourds de masse volumique supérieure à 1800 kg /m^3. De même un mur en ***« béton plein »*** est un mur constitué de béton banché, de bloc de béton, ou de panneaux préfabriqués en béton, à base d'agrégats lourds de masse volumique supérieure à 1800 kg /m^3.

- Un bloc de **« béton** perforé » est un bloc de béton conforme à la norme NF EN 771-3 ne présentant pas plus de 20% de vide d'air.

- Une « ***brique perforée »*** est une brique de terre cuite conforme à la norme NF P 13304 présentant moins de 20% de vide d'air.

- Un revêtement est considéré sans effet thermique soit si sa masse volumique est supérieure à 900 kg/m^3, soit si sa résistance thermique est inférieure ou égale à 0,02 m².K/W (pour les apprécier, les valeurs tabulées définies dans les règles Th-bât fascicule matériaux peuvent être utilisées).

- Lorsqu'un niveau comprend des types de revêtements différents au sens de l'effet thermique, on retient le type d'effet thermique correspondant à la plus grande surface. On peut aussi calculer la résistance thermique de l'ensemble par la moyenne des résistances pondérées par les surfaces.

- L'absence de revêtement (locaux industriels) est à considérer comme revêtement sans effet thermique. Les revêtements ayant une faible résistance thermique (R_{inf}≤0.02 m².K/W) sont considérés comme sans effet thermique.

Une **lame d'air ventilée en faux plafond** est définie selon la norme NF EN ISO 6946 :

Type de lame d'air en faux plafond	Surface d'ouverture libre
Lame d'air non ventilée	• inférieure à 500 mm^2 par m^2 de superficie
Lame d'air faiblement ventilée	• comprise entre 500 mm^2 et 1500 mm^2 d'ouverture par m² de superficie
Lame d'air moyennement ou fortement ventilée	• supérieure à 1500 mm^2 par m^2 de superficie

Tableau 82 : Définition du type de lame d'air en faux plafond

6.1.5 LIEN AUX AUTRES FASCICULES

Pour appliquer les présentes règles, en particulier la méthode détaillée, il est nécessaire de connaitre les la conductivité thermique, la masse volumique et la capacité thermique massique des matériaux. En l'absence d'une connaissance précise de ces caractéristiques, les valeurs par défauts données dans les règles Th-Bat fascicule matériaux peuvent être utilisées.

CHAPITRE II

6.2 La méthode forfaitaire

Pour la partie de bâtiment considérée, la méthode forfaitaire consiste à :

- Pour chaque niveau de la partie de bâtiment considérée, identifier les parois lourdes en fonction des matériaux qui les composent et de leur position.
- Déterminer la classe d'inertie de chaque niveau en fonction du nombre de parois lourdes affectées au niveau considéré.
- Retenir pour un bâtiment ou une partie de bâtiment comportant plusieurs niveaux, la classe d'inertie du niveau le plus défavorisé.
- Relever les valeurs de C_{m_surf} et A_{m_surf} affectées à la classe d'inertie précédemment déterminée.

6.2.1 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE

La classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment est déterminée directement à partir du tableau suivant :

Plancher bas	Plancher haut	Paroi verticale	Classe d'inertie
Lourd	Lourd	lourde	très lourde
-	Lourd	lourde	lourde
Lourd	-	lourde	lourde
Lourd	Lourd	-	lourde
-	-	lourde	moyenne
-	Lourd	-	moyenne
Lourd	-	-	moyenne
-	-	-	très légère

Tableau 83 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie d'un niveau de bâtiment

Remarque :
Il y a correspondance entre la classification obtenue par cette approche forfaitaire, et celle obtenue par l'approche par points d'inertie. En effet, une paroi qui n'est pas classée « lourde » peut contribuer à l'inertie du bâtiment. De même, l'inertie du mobilier est aussi prise en compte implicitement.

En utilisant les définitions suivantes :

Définition du « plancher haut lourd » :

- Plancher sous toiture (terrasse, combles perdus, rampant lourd):
  - ◊ *Béton plein* de plus de 8 cm isolé par l'extérieur et sans faux plafond *(*)*;
- Sous face de plancher intermédiaire :
  - ◊ *Béton plein* de plus de 15 cm sans isolant et sans faux plafond *(*)*;
- Tout plancher ayant 5 points d'inertie ou plus pour sa face inférieure, déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

(*) Ne sont considérés que les faux plafonds possédant une lame d'air non ventilée ou faiblement ventilée (moins de 1500 mm² d'ouverture par m² de surface), couvrant plus de la moitié de la surface du plafond du niveau considéré.

Définition du « plancher bas lourd » :

- Face supérieure de plancher intermédiaire avec un *« revêtement sans effet thermique »* :
  - ◊ *Béton plein* de plus de 15 cm sans isolant,
  - ◊ Chape ou dalle de béton de 4 cm ou plus sur entrevous lourds (béton, terre cuite), sur béton cellulaire armé ou sur dalles alvéolées en béton,
- Plancher bas avec isolant thermique en sous face avec un *« revêtement sans effet thermique »* :
  - ◊ *Béton plein* de plus de 10 cm d'épaisseur
  - ◊ Chape ou dalle de béton de 4 cm ou plus sur entrevous lourds (béton, terre cuite), sur béton cellulaire armé ou sur dalles alvéolées en béton.
  - ◊ Dalle de béton ou chape de 5 cm ou plus sur entrevous en matériau isolant ou sur un matériau isolant.
- Tout plancher ayant 5 points d'inertie ou plus pour sa face supérieure déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

Définition d'une « paroi verticale lourde » :

Un niveau de bâtiment possède une paroi verticale lourde si elle remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- Lorsque la surface de mur est au moins égale à 0,9 fois la surface de plancher (maisons individuelles), murs de façade et pignon isolés par l'extérieur avec à l'intérieur :
  - ◊ *béton plein* (banché, bloc, préfabriqué) de 7 cm ou plus,
  - ◊ blocs agglo béton 11 cm ou plus,
  - ◊ blocs perforés en béton 10 cm ou plus,
  - ◊ bloc creux béton 11 cm ou plus,
  - ◊ brique pleine ou perforée 10,5 cm ou plus ;
- Murs extérieurs à isolation répartie de 30 cm minimum, avec un cloisonnement réalisé en bloc de béton, en brique plâtrière enduite ou en carreau de plâtre de 5 cm minimum ou en béton cellulaire de 7 cm minimum ;
- Ensemble de doublage intérieur des murs extérieurs et de cloisonnements, de 5 cm minimum réalisé en bloc de béton, brique enduite ou carreau de plâtre ;
- Lorsque la taille moyenne des locaux est inférieure à 30 m² (bâtiments d'habitation, bureaux) :

  mur cloisonnement intérieur lourd, réalisé en :

  - ◊ béton plein de 7 cm minimum,
  - ◊ bloc de béton creux ou perforé de 10 cm minimum,
  - ◊ brique pleine ou perforée de 10,5 cm minimum,
  - ◊ autre brique de 15 cm minimum avec un enduit plâtre sur chaque face ;
- Ensemble de murs de façade et pignon et de cloisons dont la somme de leurs points est supérieure ou égale à 7 points d'inertie déterminés selon la méthode présentée §6.4.1.

Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf}

La capacité thermique quotidienne, C_{mq_surf}, et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{mq_surf}, sont déterminées dans le Tableau 84 :

CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE	Capacité quotidienne C_{mq_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{mq_surf} (m²/m²)
• très légère	80	2,5
• moyenne	165	2,5
• lourde	260	3,0
• très lourde	370	3,5

Tableau 84 : Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf} comme valeur d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.2.2 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE

L'inertie séquentielle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie séquentielle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne. Elle peut être déterminée de façon forfaitaire selon la présence ou non de parois lourdes au sens de l'inertie séquentielle à partir des conditions qui suivent. La définition d'une paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle figure ci-après. Elle ne doit pas être confondue avec une inertie lourde au titre de l'inertie quotidienne décrite dans le paragraphe 6.2.1.

1. Si la partie de bâtiment considérée ne dispose pas de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle, la classe d'inertie séquentielle est déterminée directement à partir du Tableau 85 en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie quotidienne :

CONDITIONS NECESSAIRES	Classe d'inertie séquentielle
• pas de paroi lourde au titre de l'inertie quotidienne	très légère
• une paroi lourde par niveau au titre de l'inertie quotidienne	très légère
• deux parois lourdes par niveau au titre de l'inertie quotidienne	légère
• trois parois lourdes par niveau au titre de l'inertie quotidienne	moyenne

Tableau 85 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle pour un niveau de bâtiment en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie quotidienne

Une paroi lourde au titre de l'inertie quotidienne est un « plancher lourd », ou une « paroi verticale lourde », définie et déterminée selon les modalités décrite précédemment pour l'inertie quotidienne au paragraphe 6.2.1 de ce fascicule.

2. Si la partie de bâtiment considérée dispose de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle, il est possible de déterminer la classe d'inertie séquentielle à partir du Tableau 86 en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle.

CONDITIONS NECESSAIRES	Classe d'inertie séquentielle
• pas de paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle :	voir Tableau 85
• une paroi lourde par niveau au titre de l'inertie séquentielle	légère
• deux parois lourdes par niveau au titre de l'inertie séquentielle	moyenne
• trois parois lourdes par niveau au titre de l'inertie séquentielle	lourde

Tableau 86 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle pour un niveau de bâtiment en fonction du nombre de parois lourdes au titre de l'inertie séquentielle

Une paroi lourde au titre de l'inertie séquentielle est définie de la façon suivante :

Définition du « plancher haut lourd » pour l'inertie séquentielle :

- Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 20 cm de béton.
- Tout plancher ayant 5 points supplémentaires au titre de d'inertie séquentielle ou plus pour sa face inférieure, déterminés selon la méthode présentée §6.4.2 .

Définition du « plancher bas lourd » pour l'inertie séquentielle :

- Plancher sur terre-plein avec isolant périphérique.
- Plancher en béton plein de 20 cm et plus isolé en sous-face.
- Tout plancher ayant 5 points supplémentaires au titre de l'inertie séquentielle ou plus pour sa face supérieure, déterminés selon la méthode présentée §6.4.2.

Définition d'une « paroi verticale lourde » pour l'inertie séquentielle :

Un niveau de bâtiment possède une paroi verticale lourde si elle remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- Lorsque la surface de mur est au moins égale à 0,9 fois la surface de plancher (maisons individuelles), murs de façade et pignon isolés par l'extérieur avec à l'intérieur :
  - ◊ *béton plein* de 16 cm ou plus,
- Murs extérieurs à isolation répartie en brique de terre cuite à perforations verticales de 30 cm ou plus.

Détermination de C_{ms_surf} et de A_{ms_surf}

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf}, exprimée en kJ/m², et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ms_surf}, sont déterminées par la classe d'inertie séquentielle selon le Tableau 87 :

CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE	Capacité séquentielle C_{ms_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{ms_surf} (m²/m²)
• indéterminée (valeur par défaut)	$C_{ms\_surf} = C_{mq\_surf}$	$A_{ms\_surf} = A_{mq\_surf}$
• très légère	$C_{ms\_surf} = C_{mq\_surf}$	$A_{ms\_surf} = A_{mq\_surf}$
• légère	260	2
• moyenne	500	2,5
• lourde	850	3

Tableau 87 : Détermination de C_{ms_surf} et d'A_{ms_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.2.3 DETERMINATION FORFAITAIRE DE LA CLASSE D'INERTIE ANNUELLE

L'inertie annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie annuelle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

La classe d'inertie annuelle est déterminée directement à partir du Tableau 88 :

CONDITIONS NECESSAIRES	Classe d'inertie annuelle
• Le plancher bas est en contact direct avec le sol ; il s'agit soit d'un terre-plein non isolé ou isolé en périphérie	Moyenne
• Autres situations	Très légère

Tableau 88 : Détermination forfaitaire de la classe d'inertie séquentielle

En contact avec le sol signifie que la paroi est en contact avec une paroi de 1,3 mètre d'épaisseur et plus en terre ou 2 m en béton plein.

Détermination de C_{ma_surf} et de A_{ma_surf}

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf}, exprimée en kJ/m², et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ma_surf}, sont déterminées par la classe d'inertie séquentielle selon le Tableau 89 :

CLASSE D'INERTIE ANNUELLE	Capacité annuelle C_{ma_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{ma_surf} (m²/m²)
• indéterminée (valeur par défaut)	$C_{ma\_surf} = C_{ms\_surf}$	$A_{ma\_surf} = A_{ms\_surf}$
• très légère	$C_{ma\_surf} = C_{ms\_surf}$	$A_{ma\_surf} = A_{ms\_surf}$
• moyenne	6000	1

Tableau 89 : Détermination de C_{ma_surf} et d'A_{ma_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

CHAPITRE III

6.3 Détermination de l'inertie par le calcul

Pour la partie de bâtiment considérée, la méthode détaillée consiste à :

- Déterminer χ la capacité thermique surfacique de chaque paroi par application de la norme NF EN ISO 13786,
- Déterminer $C_{m\_surf} = C_m/A_{niv}$ la capacité thermique surfacique de chaque niveau,
- Déterminer A_m la surface d'échange équivalente des parois opaques avec l'ambiance pour chaque niveau,
- Retenir comme capacité thermique surfacique, C_{m_surf}, et comme surface d'échange équivalente, A_{m_surf}, les valeurs calculées qui correspondent au niveau qui a la classe d'inertie la plus légère du point de vue inertie quotidienne.

6.3.1 DETERMINATION DE LA CAPACITE THERMIQUE SURFACIQUE

La norme NF EN ISO 13 786 propose deux façons de calculer la capacité thermique surfacique, d'une part, une version détaillée décrite dans le corps de la norme, d'autre part, une version simplifiée décrite en Annexe A. Pour conduire les calculs dans les deux méthodes, quelques précisions ou compléments par rapport à la norme NF EN ISO 13786 ont été apportés pour s'assurer d'une bonne articulation entre la norme et le bilan thermique dynamique inclus dans les méthodes d'application des réglementations thermiques.

résistances d'échanges superficielles :

Compte tenu du modèle simplifié utilisé dans les méthodes d'application des réglementations thermiques, les résistances d'échanges superficielles entre la paroi et l'ambiance ne doivent pas être prises en compte.

Faux plafonds ou planchers techniques :

Les différentes catégories de faux plafond sont les suivantes :

- les « faux plafonds avec une lame d'air non ventilée » ;
- les « faux plafonds avec une lame d'air faiblement ventilée » ;
- les « faux plafonds avec une lame d'air fortement ventilée ».

La distinction entre les trois types de plafonds s'opère de la manière suivante :

1. Si le faux plafond est étanche à l'air d'après les données du constructeur, se sera un « faux plafond avec une lame d'air non ventilée » ;
2. Si le faux plafond ne possède pas de fente ou trous alors que les données du fabricant précisent qu'il n'est pas étanche à l'air, ce sera un « faux plafond avec une lame d'air faiblement ventilée » ;
3. Si le faux plafond est constitué de lames disjointes ou à trous alors ce sera un « faux plafond à lame d'air fortement ventilée » ;
4. Si un doute existe sur l'étanchéité, on utilisera la définition de la norme NF EN ISO 6946. On parlera de faux plafond non ventilé s'il y a moins de 500 mm^2 d'ouverture par m^2 de superficie, de faux plafond faiblement ventilés s'il y a entre 500 mm^2 et 1500 mm^2 d'ouverture par m^2 de superficie et de faux plafonds fortement ventilés dans le dernier cas.

Cavités dans les composants de paroi :

Les hypothèses faites pour les cavités sont les suivantes :

- le flux de chaleur est horizontal ;
- h_{ro} (coefficient de rayonnement du corps noir) = 5,1 W/m^2.K ;
- ε (émissivité hémisphérique) = 0,9.

Le calcul de la résistance thermique de la cavité d'air se fait ensuite à partir de l'équation suivante :

$$Rg = \frac{1}{ha + \frac{1}{2}.E.hro.\left(1 + \sqrt{1 + \frac{d^2}{b^2}} - \frac{d}{b}\right)}$$

Les valeurs obtenues avec le calcul simplifié (annexe A de la norme, avec les compléments de la présente méthode §6.3.1.1) peuvent être utilisées de la même manière que les valeurs issues du calcul détaillé dès lors que les conditions d'utilisation de l'annexe A sont respectées. L'utilisateur peut retenir la valeur qu'il souhaite parmi les deux valeurs obtenues par l'application stricte de la norme.

6.3.1.1 *calcul simplifié de la capacité thermique*

la méthode simplifiée est décrite dans la norme NF EN ISO 13 786 annexe A. Pour son application quelques conventions spécifiques doivent être appliquées. La détermination de l'épaisseur efficace est également étendue en précisant les liens avec les autres fascicules des règles Th-Bât. Finalement le correctif relatif aux parois interne est précisé.

6.3.1.1.1 ***conventions et définitions***

masse négligeable :

Dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786, il est utilisé le terme de masse négligeable. Pour les besoins du calcul, une valeur limite doit être fixée pour cette masse. Ainsi, les matériaux ayant un poids inférieur à 2 kg/m^2 seront considérés comme des matériaux ayant une masse négligeable. Si un matériau de masse négligeable est situé aux extrémités du composant à étudier, seule sa résistance thermique interviendra dans le calcul de la capacité thermique pour l'annexe A. Il convient de prendre en compte l'effet thermique comme une résistance additionnelle selon le paragraphe A3 de l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786.

Couche isolante :

Une couche est dite isolante si sa conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/m.K et si sa résistance thermique est supérieure à 0,5 m^2.K/W.

6.3.1.1.2 ***Détermination de l'épaisseur efficace maximale***

L'inertie d'une période donnée, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde de température, est déterminée pour la période considérée. Dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 13786, il y a des valeurs définies de l'épaisseur efficace maximale pour différentes périodes. Elles sont calculées en conservant une valeur de la diffusivité thermique de $\alpha = 0{,}7 \times 10^{-6}$ m2/s donnée par la norme. Néanmoins pour un calcul plus fin, il est possible de déterminer cette épaisseur efficace maximale en tenant compte des caractéristiques effectives du matériau pour chaque période, T, considérée exprimée en seconde. A défaut d'une connaissance précise de ces valeurs, les valeurs, en m².s^{-1}, à prendre sont celles figurant dans les règles Th-Bât fascicule matériaux.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C}$$

La détermination de cette épaisseur efficace maximale se fait alors en appliquant la formule suivante :

$$d_{T\,max} = \sqrt{\frac{1}{2}} . \sqrt{\frac{\lambda . T}{\pi . \rho . C}} = \sqrt{\frac{\alpha . T}{2 . \pi}}$$

Valeur de l'épaisseur efficace maximale :

- Pour l'inertie quotidienne, la valeur retenue est soit la valeur donnée par la norme soit la valeur calculée selon la formule précédente à partir des caractéristiques du matériau pour une période T de 24 h soit 86400 secondes.

- Pour l'inertie séquentielle, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde séquentielle de température en saison chaude, la norme ne propose pas de valeur définie de l'épaisseur efficace pour cette période de 14 jours. En conservant la valeur de la diffusivité thermique de la norme, l'épaisseur efficace pour 14 jours est de 38 cm. Cette valeur peut être retenue pour l'épaisseur efficace. Il est également possible de la calculer à partir de la formule précédente à l'aide des caractéristiques du matériau pour une période T de 14 jours soit 1209600 secondes .

- Pour l'inertie annuelle, utilisée pour caractériser l'amortissement de l'onde annuelle de température, la norme ne propose pas de valeur définie de l'épaisseur efficace pour cette période. En conservant la valeur de la diffusivité thermique de la norme, l'épaisseur efficace pour 365 jours est de 190 cm. Cette valeur peut être retenue pour l'épaisseur efficace. Il est également possible de la calculer à partir de la formule précédente à l'aide des caractéristiques du matériau pour une période de 365 jours soit 31536000 secondes.

6.3.1.1.3 ***Détermination de la capacité d'une paroi***

La méthode simplifiée de la norme s'applique pour les parois composées d'une ou plusieurs couches. Toutes les couches homogènes comprises entre la surface en contact avec l'ambiance jusqu'à la surface de la première couche isolante sont considérées. Pour chaque couche l'épaisseur sollicitée par l'onde de chaleur périodique est déterminée selon l'approximation de la couche mince, du milieu semi-infini ou de la méthode de l'épaisseur efficace conformément à la norme.

Pour la méthode de l'épaisseur efficace, il convient de compléter de la façon suivante la norme :

L'épaisseur efficace d'un composant est la plus petite des valeurs suivantes :

a la moitié de l'épaisseur totale du composant s'il est situé, quel que soit son inclinaison, entre deux ambiances à la même température, ou s'il ne possède pas de couche isolante sinon son épaisseur totale ;

b l'épaisseur des matériaux compris entre la face considérée et la première couche isolante, sans tenir compte des revêtements qui ne font pas partie du composant ;

c une épaisseur efficace maximale, fonction de la période de variation. La valeur de l'épaisseur efficace proposée par défaut dans la norme en fonction de la période des variations, peut être calculée par la formule du paragraphe précédent pour déterminer $d_{T\,max}$.

Dans le cas particulier où la totalité de la première couche homogène, non isolante, est sollicitée par l'onde de chaleur, alors la seconde couche homogène, non isolante, accumule également de la chaleur. Il convient donc d'ajouter la capacité de cette seconde couche à celle de la première couche homogène.

Pour cela, l'épaisseur de la seconde couche sollicitée par l'onde de chaleur périodique doit être déterminée. Si la valeur de la diffusivité $\alpha = 0{,}7 \times 10^{-6}$ m^2/s proposée dans la norme est retenue alors la capacité de chaque couche entre l'ambiance et la première couche isolante est utilisée comme stipulé dans la norme.

Si le choix de travailler avec la diffusivité spécifique des deux premières couches alors la procédure est la suivante :

- Il convient de déterminer l'épaisseur $d_{T\,\max\_2}$ calculée avec les caractéristiques du matériau composant cette deuxième couche.

- Retrancher à cette valeur de $d_{T\,\max\_2}$ l'épaisseur de la première couche e_1

- L'épaisseur à retenir est la valeur minimale entre l'épaisseur effective, e_2, de la deuxième couche et la valeur $d_{T\,\max\_2}$ à laquelle l'épaisseur de la première couche, e_1, a été retranchée. Autrement dit Min(e_2 ; $d_{T\,\max\_2} - e_1$)). L'épaisseur ne peut être négative.

Une fois cette épaisseur utile pour l'inertie déterminée pour la deuxième couche, il est alors possible de déterminer le complément de capacité dû à la deuxième couche.

Dans le cas où la deuxième couche homogène serait entièrement sollicitée et qu'une troisième couche non isolante peut contribuer à la capacité thermique, alors il convient, au choix :

- de revenir au calcul simplifié en calculant l'épaisseur efficace maximale avec la diffusivité proposée par la norme $\alpha = 0{,}7 \times 10^{-6}$ m^2/s.

- d'utiliser la méthode détaillée de la norme.

Dans le cas particulier, d'une paroi entièrement située dans l'ambiance thermique il convient de calculer pour chaque face la capacité des couches homogènes entre l'ambiance et la première couche isolante. Si la paroi ne contient pas de couche isolante, il convient de calculer la capacité de chaque face en considérant la demi épaisseur de la paroi.

6.3.1.2 *calcul détaillé de la capacité thermique*

La capacité thermique surfacique peut également être calculée par la méthode détaillée dans le corps principal de la norme pour les inerties :

- Quotidienne avec une période de 86400 secondes,

- Séquentielle avec une période de 1209600 secondes,

- Annuelle avec une période de 31 536 000 secondes.

Les résistances d'échange superficielles ne doivent pas être prises en compte.

Dans le cas particulier d'une paroi entièrement située dans l'ambiance thermique chaque face doit être considérée.

6.3.2 DETERMINATION DE L'INERTIE QUOTIDIENNE PAR LE CALCUL

A partir de la capacité thermique surfacique et de la surface de chaque paroi les deux paramètres qui caractérisent l'inertie thermique quotidienne d'un niveau de bâtiment sont calculés. Il s'agit de :

- La capacité thermique du niveau étudié pour une onde de 24 h (C_{mq}) ;
- La surface d'échange équivalente des parois lourdes avec l'ambiance (A_{mq}) :

$C_{mq} = \Sigma A_i \times \chi_{ji}$(kJ/K) *(formule 278)*

$A_{mq} = (\Sigma A_i \times \chi_{ji})^2 / (\Sigma A_i \times \chi_{ji}^2)$ (m^2) *(formule 279)*

avec :

A_i (m^2) est la surface de la paroi i du niveau étudié du bâtiment ;

A_{niv}(m^2) est la surface utile du niveau étudié du bâtiment ;

χ_{ji} (kJ/m^2°K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 24 heures (j = indice de période journalière) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1 .

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

L'inertie quotidienne du mobilier est prise en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m^2 de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, ..) et à 0 kJ/K par m^2 de sol pour les bâtiments à usage sportif. La surface du mobilier n'est pas prise en compte.

Si l'ensemble de locaux, pour lequel l'inertie est recherchée, dispose de plusieurs niveaux alors l'inertie du niveau le plus défavorisé d'un point de vue de l'inertie quotidienne doit être retenue. Dès lors, il convient de retenir le couple de valeurs calculées (C_{mq_surf} ; A_{mq_surf}) du niveau qui conduit à la classe d'inertie la plus faible.

Le tableau suivant permet de déterminer la classe d'inertie d'un niveau en fonction des valeurs calculées du (C_{mq_surf} ; A_{mq_surf}) :

I_{nq}	C_{mq}/A_{niv} (kJ/m^2K)									
A_{mq} / A_{niv}	**80 à 109**	**110 à 164**	**165 à 219**	**220 à 259**	**260 à 309**	**310 à 329**	**330 à 349**	**350 à 369**	**370 à 499**	**500 et plus**
1,0 à 1,4	t. lég.	t. lég.	t. lég.	t. lég.	légère.	légère.	légère.	légère.	légère.	légère.
1,5 à 1,9	t. lég.	t. lég.	légère	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.
2,0 à 2,4	t. lég.	légère.	moy.	moy.	moy.	moy.	moy.	L	L	L
2,5 à 2,9	t. lég.	légère	moy.	moy.	L	L	L	L	L	L
3,0 à 3,4	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	L	L	T L
3,5 à 3,9	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	L	T L	T L
4.0 à 4,4	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	L	T L	T L	T L
4,5 à 4,9	t. lég.	légère	moy.	L	L	L	T L	T L	T L	T L
5,0 et plus	t. lég.	légère	moy.	L	L	T L	T L	T L	T L	T L

Classe d'inertie : t. lég. = très légère ; moy. = moyenne ; L = lourde ; TL = très lourde

Tableau 90 : classe d'inertie quotidienne d'un niveau de bâtiment déterminée par le calcul

6.3.3 DETERMINATION DE L'INERTIE SEQUENTIELLE PAR LE CALCUL

L'inertie séquentielle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie séquentielle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf}, d'un niveau de bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée sur la base des capacités thermiques séquentielles des parois (χ_{si} avec i indice de paroi) calculées selon la norme NF EN ISO 13786 et des surfaces de ces parois.

$C_{ms} = \Sigma A_i \times \chi_{si}$	(kJ/K)	*(formule 280)*
$A_{ms} = (\Sigma A_i \times (\chi_{si} - \chi_{ji}))^2 / (\Sigma A_i \times (\chi_{si} - \chi_{ji})^2)$	(m^2)	*(formule 281)*

où :

A_i (m^2) est la surface de la paroi i ;

A_{niv}(m^2) est la surface utile du niveau considéré du bâtiment (ou de la zone) ;

χ_{si} (kJ/m^2.K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 14 jours (s = indice de période séquentielle) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1.

χ_{ji} (kJ/m^2°K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 24 heures (j = indice de période journalière) calculée précédemment.

Le mobilier est pris en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m² de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, …) et à 0 kJ/K par m² de sol pour les bâtiments à usage sportif.

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

6.3.4 DETERMINATION DE L'INERTIE ANNUELLE PAR LE CALCUL

L'inertie annuelle d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est l'inertie annuelle du niveau le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne.

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf}, d'un niveau de bâtiment, ou d'une zone thermique, est déterminée sur la base des capacités thermiques annuelles des parois (χ_{ai} avec i indice de paroi) calculées selon la norme NF EN ISO 13786 et des surfaces de ces parois.

$C_{ma} = \Sigma A_i \times \chi_{aai}$	(kJ/K)	*(formule 282)*
$A_{ma} = (\Sigma A_i \times (\chi_{ai} - \chi_{si}))^2 / (\Sigma A_i \times (\chi_{ai} - \chi_{si})^2)$	(m^2)	*(formule 283)*

où :

A_i (m^2) est la surface de la paroi i ;

A_{niv}(m^2) est la surface utile du niveau considéré du bâtiment (ou de la zone) ;

χ_{ai} (kJ/m^2.K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 365 jours (a = indice de période annuelle) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les conditions spécifiques décrites au §6.3.1.1.

χ_{si} (kJ/m^2.K) est la capacité thermique surfacique de la paroi i pour une période de 14 jours (s = indice de période séquentielle) calculée précédemment.

Le mobilier est pris en compte de manière forfaitaire à 20 kJ/K par m² de sol dans le cas général (habitation, hébergement, bureau, …) et à 0 kJ/K par m² de sol pour les bâtiments

à usage sportif.

Pour les parois entièrement situées dans l'ambiance la surface de chaque face est à considérer avec la capacité thermique surfacique afférente à chaque face calculée au §6.3.1. Si la paroi sépare deux niveaux, à l'instar d'un plancher intermédiaire, la capacité et la surface de :

- la face supérieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau au-dessus du plancher
- la face inférieure contribuent au calcul de l'inertie du niveau en dessous du plancher.

Remarques sur les aspects thermiques non pris en compte

Les aspects thermiques non pris en compte sont les suivants :

* Effet d'ailette externe des composants avant des surfaces extérieures non planes : leur influence équivalente à une augmentation du coefficient de convection est négligeable pour les couches de plus de 5 cm.
* Effet d'ailette et diffusion latérale internes aux composants avec cavité non prise en compte dans le calcul de la capacité thermique des matériaux hétérogènes. Cet effet thermique de second ordre ne peut être modélisé de manière simple.
* Ponts thermiques des parois.

CHAPITRE IV

6.4 calcul des points d'inertie

La norme NF EN ISO 13786 a un domaine d'application limité dont les parois avec des hétérogénéités prononcées sont exclues. Pour les parois les plus courantes une méthode complémentaire, dite par points d'inertie, permet d'accéder à l'inertie d'un local ou d'un ensemble de locaux.

La méthode par points se déroule par étapes, elle consiste à :

- Déterminer, pour chaque niveau de la partie de bâtiment considérée, le nombre de points par parois en fonction des matériaux qui les composent et de leur position.
- Cumuler les points obtenus et déterminer la classe d'inertie de chaque niveau de la partie de bâtiment considérée en fonction du nombre de points obtenus.
- Retenir, pour un bâtiment ou une partie de bâtiment comportant plusieurs niveaux, la classe d'inertie du niveau le plus défavorisé.
- Relever les valeurs de C_{m_surf} et A_{m_surf} affectées à la classe d'inertie précédemment déterminée.

Il convient donc de déterminer le nombre de points affectés à chaque paroi. La méthode exposée ici présente pour chaque inertie quotidienne, séquentielle et annuelle :

- La façon d'additionner les points pour déterminer la classe d'inertie du local ou de l'ensemble de locaux.
- La façon de calculer le nombre de points d'une paroi en fonction de sa capacité et de sa surface ramenée à celle du niveau étudié.
- Les valeurs par défaut et les conventions pour les parois courantes.

6.4.1 DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE PAR « POINTS D'INERTIE »

Pour déterminer la classe d'inertie d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment par la méthode par points, deux étapes sont nécessaires :

1ère étape : déterminer la cotation de chaque paroi. Pour déterminer le nombre de points d'une paroi deux méthodes sont possibles selon que la capacité thermique surfacique est connue ou sa composition.

2ème étape : déduction de la classe d'inertie du bâtiment.

La démarche est présentée dans la grille suivante avec la liste des références des tableaux de cotation des parois courantes si les conventions en fonction de la composition des parois est utilisée *(cf. paragraphe 6.4.1.2).*

1ère étape : cotation des parois pour chaque niveau

Paroi		Niveau sous toiture	Niveau courant	Niveau inférieur
Plancher sous toiture	(a)	(cf. *Tableau 93*, *Tableau 95)*		
Plancher intermédiaire (face inférieure)			*(cf. Tableau 94., Tableau 95.)*	*(cf. Tableau 94., Tableau 95.)*
Plancher intermédiaire (face supérieure)	(b)	*(cf. Tableau 94.)*	*(cf. Tableau 94.)*	
Plancher bas		*(cf. Tableau 96.)(*)*		*(cf. Tableau 96.)*
Murs	(c)	*(cf. Tableau 97)*	*(cf. Tableau 97)*	*(cf. Tableau 97)*
Cloisons	(d)	*(cf. Tableau 98)*	*(cf. Tableau 98)*	*(cf. Tableau 98)*
Mobilier	(e)	*(cf. Tableau 99)*	*(cf. Tableau 99)*	*(cf. Tableau 99)*
Total points par niveau = (a)+(b) +(c)+(d) +(e)				

(*) Dans le cas de bâtiment d'un seul niveau (pas de plancher intermédiaire)

Tableau 91 : Présentation générale des tableaux de points par paroi

2ème étape : Déduction de la classe d'inertie du bâtiment

Valeur minimale	→	Classe d'inertie bâtiment	

Remarque : les « points d'inertie » obtenus par un ouvrage quantifient directement sa contribution à l'inertie globale du bâtiment ou de la partie de bâtiment étudiée : ils correspondent au rapport entre le flux échangé ramené à la surface utile et la sollicitation en température intérieure. Un point d'inertie s'exprime en W/K par m² de surface utile.

6.4.1.1 *Détermination des points d'inertie d'une paroi à partir de sa capacité thermique et de sa surface*

Les points d'inertie d'une paroi**,** horizontale ou verticale, peuvent être déterminés à partir de sa capacité thermique surfacique quotidienne χ_j (kJ/m^{2}K) et de sa surface ramenée à la surface utile A/A_{niv} (-). Les points d'inertie des parois en *béton plein* peuvent être déterminés à partir de l'épaisseur active de la paroi e (cm) au lieu de χ_j.

avec : A (m^2) : surface de la paroi déduction faite des baies (fenêtres, portes, etc.)
A_{niv} (m^2) : surface utile du niveau étudié;

χ_j (kJ/m^2.K) : capacité thermique surfacique de la paroi (face intérieure) calculée selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 pour une période de 24 heures;

e (cm) : l'épaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à une couche isolante. Si la paroi n'est pas isolée *(ex. : plancher intermédiaire, refend)* l'épaisseur prise en compte est limitée à la moitié de l'épaisseur totale.

	Capacité thermique surfacique quotidienne χ_j (kJ/m^{2}K)							
	10 à 24	**25 à 39**	**40 à 59**	**60 à 79**	**80 à 99**	**100 à 139**	**140 à 199**	**200 et plus**
A/A_{niv}	**Epaisseur paroi en *béton plein* comptée par l'intérieur : e (cm)**				**4**	**5 à 7**	**8 à 20**	**>20**
0,2	0	0	1	1	1	1	1	1
0,4	0	1	1	1	2	2	2	3
0,6	0	1	2	2	3	3	3	4
0,8	1	1	2	3	4	4	5	5
1,0	1	2	3	4	4	5	6	6
1,2	1	2	3	4	5	6	7	8
1,4	1	2	4	5	6	7	8	9
1,6	1	3	4	6	7	8	9	10

Tableau 92 : Points d'inertie d'une paroi selon sa capacité surfacique quotidienne et sa surface – équivalence en épaisseur de paroi en béton plein

Les cloisons placées à l'intérieur de l'enveloppe, bénéficient d'un cumul des points attribués pour chacune des deux faces (en regard de la capacité thermique déterminée pour chaque face). Ainsi, chaque face est considérée comme une paroi avec sa capacité, calculée au §6.3.1, et sa surface.

6.4.1.2 *Détermination des points d'inertie des parois courantes*

En l'absence de la valeur de la capacité, le nombre de points donné dans les tableaux suivants peut être retenu. La liste des références des tableaux de cotation des parois courantes est présentée dans la figure ci-dessous.

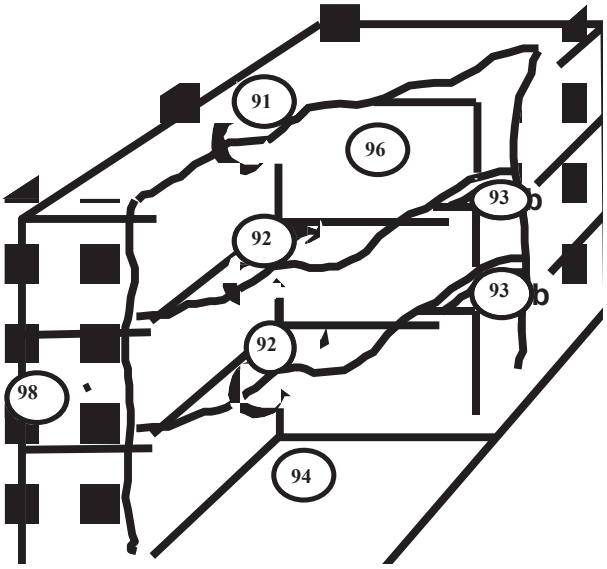


Figure 144 :
Repérage des différents tableaux de cotation (hors mobilier) →

Les points d'inertie d'une paroi s'entendent pour l'ensemble de la famille de paroi : par exemple un « plancher bas » de bâtiment représente l'ensemble des parois de plancher du niveau considéré vues par leur face supérieure. Lorsqu'une famille de paroi est constituée de parois ayant une cotation différente en points d'inertie, on retient le nombre de points de la paroi présentant le plus de surface.

6.4.1.2.1 *Points d'inertie de parois courantes sous toiture*

Une paroi sous toiture désigne le plancher ou le plafond sous toiture du dernier niveau aménagé du bâtiment (plafond ou plancher sous combles perdus, plafonds rampants, terrasses).

La cotation en points d'inertie d'une paroi courante de toiture sans faux plafond est donnée dans le Tableau 93 ci-après.

Lorsque le plancher haut est équipé d'un faux plafond avec une lame d'air moyenne ou fortement ventilée alors les cotations du Tableau 93 s'appliquent. Pour un plancher haut avec un faux plafond, dont la lame d'air est faiblement ou non ventilée, il convient de se référer au Tableau 95.

DESCRIPTIF DES PAROIS COURANTES DE TOITURE	POINTS D'INERTIE	Type de plancher haut
Paroi avec isolation côté extérieur ou placée sous une toiture isolée avec à l'intérieur au moins :		
• Plancher *béton* 8 cm ou plus	6	LOURD
• Dalles alvéolées de béton de 20 cm ou plus	5	LOURD
• Dalles alvéolées de béton d'épaisseur inférieure à 20 cm	4	MOYEN
• Plancher en béton cellulaire armé de 20 cm ou plus	4	MOYEN
• Entrevous de terre cuite ou de béton avec 1 cm de plâtre en sous face	3	MOYEN
Tout type de plancher avec isolant en sous face ou plafond léger		
◊ 1 cm de plâtre en sous face d'isolant	1	LEGER
◊ 2 cm de plâtre en sous face d'isolant	2	LEGER

Tableau 93 – Points d'inertie de parois courantes de toitures sans faux plafond

6.4.1.2.2 *Points d'inertie de parois courantes de plancher intermédiaire*

L'inertie d'un plancher intermédiaire, entre deux niveaux d'un bâtiment, s'apprécie pour ses deux faces qui font l'objet chacune d'une cotation en points d'inertie :

- Face supérieure qui concerne le niveau au-dessus du plancher
- Face inférieure qui concerne le niveau en dessous du plancher

La cotation en points d'inertie de chaque face d'une paroi courante de plancher intermédiaire est donnée dans le Tableau 94.

Lorsque le plancher intermédiaire a, pour sa face inférieure, un faux plafond avec une lame d'air moyenne ou fortement ventilée alors les cotations du Tableau 94 s'appliquent. Pour un plancher intermédiaire, dont la face inférieure a un faux plafond avec une la lame d'air faiblement ou non ventilée, il convient de se référer au Tableau 95.

DESCRIPTIF PAROI COURANTE DE PLANCHER INTERMEDIAIRE	FACE SUPERIEURE		FACE INFERIEURE SANS FAUX PLAFOND	
	Points d'inertie avec revêtement à effet thermique	Points d'inertie avec revêtement sans effet thermique	Points d'inertie	Type de plancher (3)
Plancher sans isolant en sous face				
• Plancher béton 15cm ou plus avec ou sans dalle de béton	4	6	6	LOURD
• Plancher dalles alvéolées béton de 20 cm ou plus avec dalle de béton (1)	4	6	5	LOURD
• Plancher dalles alvéolées béton inférieure à 20 cm avec dalle de béto (1)	4	6	4	MOYEN
• Plancher béton cellulaire armé 20 cm ou plus avec chape ou dalle de béton (1)	4	5	4	MOYEN
• Plancher entrevous de terre cuite ou de béton avec dalle de béton (1), EMS ou équivalent (2)	4	5	3	MOYEN
• Dalle de 5 cm béton plein sur isolant et plancher bois	4	5	1	LEGER
• Plancher bois	0	1	1	LEGER
Tout plancher avec isolant en sous face ◊ sans plâtre ◊ 1 cm de plâtre ◊ 2 cm de plâtre	*Cf. partie haute du tableau : plancher sans isolant*	*cf. partie haute du tableau : plancher sans isolant*	0 1 2	LEGER

Tableau 94 : Points d'inertie de parois courantes de plancher intermédiaire

1. Une chape ou dalle adhérente en béton, une chape ou dalle flottante avec ou sans résilient acoustique en sous-face est prise en compte lorsque son épaisseur excède 4 cm.

2. Ajouter un point d'inertie si l'ensemble dalle adhérente en béton et chape est continu et d'au moins 9 cm d'épaisseur, uniquement dans le cas avec revêtement sans effet thermique.
3. Le « type de plancher » est une caractérisation du plancher sans faux plafond, même si celui-ci ne peut être utilisé sans faux plafond. Pour la détermination des points d'inertie des parois courantes de plancher avec un faux plafond équipé d'une lame d'air faiblement ou non ventilée, il faut utiliser le Tableau 95.

6.4.1.2.3 *Points d'inertie des planchers avec faux plafond*

Dans le cas de plancher haut avec faux plafond ou de plancher intermédiaire avec faux plafond, il convient de prendre en compte le faux plafond dans la cotation de la face inférieure de la paroi courante lorsque la lame d'air est non ventilée ou faiblement ventilée.

Le type de plancher haut (lourd, moyen, léger) est donné dans le Tableau 93 et dans le Tableau 94.

DESCRIPTIF PAROI		**POINTS D'INERTIE W/(K.m²)**		
FAUX PLAFOND	**LAME D'AIR**	**Plancher LOURD**	**Plancher MOYEN**	**Plancher LEGER**
TOUT FAUX PLAFOND	Lame d'air moyennement ventilée ou fortement ventilée	Faux Plafond non pris en compte : Toiture : cf. Tableau 93 Plancher intermédiaire : cf. Tableau 94		
Faux plafond en fibre de roche, laine de	Lame d'air non ventilée	1	1	1
roche ou fibre de verre (épaisseur variant de 15 à 20 mm)	Lame d'air faiblement ventilée	2	2	1
Faux plafond en terre cuite	Lame d'air non ventilée	3	3	1
(épaisseur 30 mm ou plus)	Lame d'air faiblement ventilée	3	3	1
Faux plafond en plâtre	Lame d'air non ventilée	3	2	1
(épaisseur 15 mm ou plus)	Lame d'air faiblement ventilée	3	2	1
Faux plafond en aluminium ou en acier	Lame d'air non ventilée	3	2	1
(épaisseur 0,5 mm)	Lame d'air faiblement ventilée	4	3	1
Faux plafond en fibre de bois (épaisseur	Lame d'air non ventilée	2	1	1
variant de 15 à 20 mm)	Lame d'air faiblement ventilée	3	2	1
Faux plafond en polystyrène (épaisseur	Lame d'air non ventilée	1	1	1
variant de 10 à 25 mm)	Lame d'air faiblement ventilée	2	1	1

Tableau 95 – Points d'inertie de parois courantes de plancher avec faux plafond

Le plancher bas désigne le plancher du niveau le plus bas du bâtiment. Ces parois sont cotées uniquement pour leur face supérieure (cf. Tableau 96).

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE W/(K.m^2)	
PLANCHER BAS	**Revêtement avec effet thermique**	**Revêtement sans effet thermique**
• Plancher *béton plein* de plus de 10 cm d'épaisseur avec isolant en sous-face (*)	4	6
• Tout plancher avec dalle de béton de 5 cm d'épaisseur et plus	4	5
• Plancher béton cellulaire ou dalles alvéolées béton, ou entrevous de terre cuite ou de béton, avec dalle de béton de 4 cm d'épaisseur	4	5

Tableau 96 – Points d'inertie de parois courantes de plancher bas

(*) Dans le cas d'un plancher sur terre-plein, l'isolant peut être placé en périphérie.

6.4.1.2.4 *Points d'inertie de parois courantes de mur (parois de façades, pignons)*

La surface A de paroi est déterminée pour l'ensemble de l'enveloppe verticale d'un même niveau en déduisant les baies. Elle est obtenue par la sommation des surfaces de mur utilisées par le calcul du $U_{bât}$. A_{niv} est la surface utile du niveau étudié du bâtiment ou de la partie de bâtiment.

Des valeurs par défaut du rapport A/A_{niv} peuvent être retenues comme suit :

- maison individuelle isolée : $A/A_{niv} > 0,9$
- bâtiment étroit : $0,9 > A/A_{niv} > 0,5$. *Un bâtiment peu épais est défini par un rapport entre, d'une part, la largeur (distance entre façades opposées), d'autre part, la hauteur entre niveaux inférieur à 5.*

POINTS D'INERTIE W/(K.m²sol)	Surface de paroi ramenée à la surface utile A/A_{niv}		
DESCRIPTIF PAROI	**A/A_{niv} > 0,9**	**9>A/A_{niv}>0,5**	**5>A/A_{niv} >0,25**
• **isolation extérieure** avec <u>à l'intérieur</u> ◊ béton plein 7 cm ou plus, ◊ bloc perforé en béton 10 cm ou plus ◊ bloc creux béton 11 cm ou plus, ◊ brique pleine ou *perforée* 10,5 cm ou plus	5	3	1
◊ autres briques 15 cm ou plus enduites	4	2	1
• **isolation répartie** avec ◊ brique de terre cuite à perforations verticales de 37 cm ou plus	4	2	1
◊ bloc de béton cellulaire 30 cm ou plus	3	2	1
◊ brique de terre cuite à perforations verticales de 30 cm à 36 cm	3	2	1
• **isolation intérieure** ◊ cloison brique 5 cm ou plus enduite ◊ doublage carreau de plâtre 5 cm ◊ doublage bloc béton 5 cm	3	1	1
◊ cloison brique 3,5 cm ou plus enduite	2	1	1
◊ doublage 1 cm plâtre	1	0	0
• **panneau léger de remplissage - bardages métalliques**	1	0	0

Tableau 97 – Points d'inertie de parois courantes de mur (parois de façades, pignons)

6.4.1.2.5 *Points d'inertie de parois courantes de cloisons*

Il s'agit des parois de distribution verticales et de cloisonnements du bâtiment. Leur cotation en points d'inertie est donnée dans le Tableau 98.

A défaut de connaitre la taille des locaux, A_{loc}, les valeurs suivantes seront retenues en fonction de l'usage principal :

- ✓ habitation, hébergement : $A_{loc} < 30\ m^2$
- ✓ enseignement et usages autres que ceux précisés : $30 < A_{loc} < 100\ m^2$
- ✓ grandes surfaces de vente, industrie, gymnase : $A_{loc} > 100\ m^2$

Si un doute existe autour des valeurs limites 30 et 100 m^2, A_{loc} est obtenue en divisant la surface utile du niveau étudié, A_{niv}, par le nombre de locaux aménagés (y compris hall, locaux techniques, locaux sanitaires, etc.) à l'exclusion des dégagements et circulations.

POINTS D'INERTIE W/(K.m²)	TAILLE MOYENNE DES LOCAUX (A_{loc})		
DESCRIPTIF PAROI	**A_{loc} < 30 m²**	**30 < A_{loc} < 100 m²**	**A_{loc} > 100 m²**
Béton plein ou bloc perforé en béton 10 cm ou plus	8	5	2 (*)
Brique pleine ou *perforée* 10,5 cm ou plus Bloc plein ou perforé en béton 7,5 cm enduit	7	4	2 (*)
Bloc creux béton 10 cm enduit ou plus	6	3	1 (*)
Brique 15 cm ou plus enduite Bloc de béton cellulaire 15 cm enduit	5	2 (*)	1 (*)
Brique creuse 5 cm ou plus enduite, ou Carreau de plâtre plein 6 cm ou Bloc agglo béton 5 cm enduit Ou Bloc de béton cellulaire 7 cm enduit	4	2 (*)	1 (*)
Brique 3,5 cm enduite	3	1 (*)	0 (*)
Cloison alvéolaire à parement de plâtre 1 cm sur chaque face	2 (*)	1 (*)	0 (*)
Cloison séparative avec sur chaque face une plaque de plâtre BA13	2 (*)	1 (*)	0 (*)

Tableau 98 : Points d'inertie de parois courantes de distribution et de cloisonnement

(*) Si le bâtiment possède un (ou des) refend(s) intérieur(s) de masse surfacique supérieure à 120 kg/m² et placé(s) à une distance inférieure à 12 m l'un de l'autre et par rapport aux pignons, son nombre de points d'inertie de « distribution-cloisonnement » ne peut être inférieur à 2 si les refends possèdent un doublage intérieur, et à 3 en absence de doublage intérieur.

6.4.1.2.6 ***Cotation de l'inertie du mobilier***

POINTS D'INERTIE W/(K.m²)	USAGE DU BATIMENT	
DESCRIPTIF MOBILIER	**Habitation hébergement bureau, santé, ...**	**Sports**
Valeur forfaitaire	1	0

Tableau 99 : Cotation de l'inertie du mobilier

6.4.1.3 *Détermination de la classe d'inertie quotidienne*

La classe d'inertie quotidienne d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, est déterminée par la somme des « points d'inertie » des parois qui le compose, somme à laquelle on rajoute par convention les points d'inertie du mobilier **:**

Classe d'inertie	Très légère	Légère	Moyenne	Lourde	Très lourde
Points d'inertie avec mobilier	5 ou 6	7 ou 8	9 à 12	13 à 18	19 et plus

Tableau 100 : Classe d'inertie d'un niveau de bâtiment déterminée par points d'inertie

Le niveau qui conduit à la classe d'inertie la plus légère est retenue pour déterminer les paramètres pour caractériser le bâtiment ou la partie de bâtiment.

6.4.1.4 *Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf}*

La capacité thermique quotidienne, C_{mq_surf}, et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{mq_surf}, sont déterminées à partir de la classe d'inertie en appliquant

CLASSE D'INERTIE QUOTIDIENNE	Capacité quotidienne C_{mq_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{mq_surf} (m²/m²)
• très légère	80	2,5
• légère	110	2,5
• moyenne	165	2,5
• lourde	260	3,0
• très lourde	370	3,5

Tableau 101 : Détermination de C_{mq_surf} et de A_{mq_surf} comme valeur d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.4.2 *DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE PAR « POINTS D'INERTIE »*

La classe d'inertie séquentielle est obtenue à partir de la sommation des points d'inertie quotidienne des parois (et mobilier) du niveau étudié à laquelle **on ajoute des « points d'inertie séquentielle »** (cf. Tableau 107**).**

Les points d'inertie séquentielle correspondent au « gain d'inertie séquentielle » défini comme l'écart entre l'inertie séquentielle (profondeur de pénétration de l'onde séquentielle établie sur 14 jours) et l'inertie quotidienne (profondeur de pénétration de l'onde quotidienne établie sur 24 heures).

6.4.2.1 *Points d'inertie séquentielle d'une paroi selon le gain séquentiel surfacique*

Les points d'inertie séquentielle d'une paroi peuvent être déterminés à partir du gain séquentiel surfacique χ_s - χ_j (kJ/m^{2}K) et sa surface ramenée à la surface utile du niveau considéré A/A_{niv} (-) selon le tableau de cotation suivant :

Gain séquentiel surfacique χ_s - χ_j (kJ/m^{2}K)					
	20 à 79	80 à 149	150 à 219	220 à 299	300 et plus
	Epaisseur paroi en béton plein comptée par l'intérieur : e (cm)				
A/A_{niv}(-)	10-11	12 -15	16-19	20-24	25 et plus
0,2	0	1	1	1	2
0,4	0	1	2	3	4
0,6	0	2	3	4	6
0,8	1	2	4	6	8
1,0	1	3	5	7	10
1,2	1	3	6	8	
1,6	1	4	8		

Tableau 102 : Points d'inertie séquentielle d'une paroi selon le gain séquentiel surfacique

avec : A (m^2) la surface de la paroi déduction faite des percements (fenêtres, portes, etc.) ;

A_{niv} (m^2) la surface utile du niveau considéré du bâtiment ou de la zone ;

χ_s , χ_j (kJ/m^{2}K) les capacités thermiques surfaciques de la paroi calculées selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 respectivement pour une période de 14 jours et une période de 24 heures ;

e (cm) l' épaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à un isolant. Si la paroi n'est pas isolée *(ex. : plancher intermédiaire, refend),* l'épaisseur prise en compte est limitée à la moitié.

Cette approche n'est utilisable que pour la détermination des points d'inertie séquentielle d'une paroi dans le cadre de la méthode par points d'inertie.

6.4.2.2 *Détermination des points d'inertie séquentielle des parois courantes*

En l'absence de la valeur du gain séquentiel surfacique, le nombre de points d'inertie séquentielle donné dans les tableaux suivants peut être retenu.

- Tableau 103 : Plancher haut ;
- Tableau 104 : Plancher intermédiaire ;
- Tableau 105 : Plancher bas ;
- Tableau 106 : Murs.

Remarque : les cloisons et le mobilier ne peuvent contribuer à l'inertie séquentielle au-delà de leur inertie quotidienne. Ils ne possèdent donc pas de points spécifiques d'inertie séquentielle.

Les points d'inertie d'une paroi s'entendent pour l'ensemble de la famille de paroi : par exemple

un « plancher bas » de bâtiment représente l'ensemble des parois de plancher du niveau considéré vues par leur face supérieure. Lorsqu'une famille de paroi est constituée de parois ayant une cotation différente en points d'inertie, on retient le nombre de points de la paroi présentant le plus de surface.

6.4.2.2.1 *Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher haut*

Pour le dernier niveau du bâtiment, il s'agit du plancher haut du bâtiment, pour les autres niveaux, il s'agit de la face inférieure d'un plancher intermédiaire.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m^2)
Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 20 cm de béton	7
Plancher haut en béton plein isolé par l'extérieur avec à l'intérieur au moins 15 cm de béton.	4
Plancher intermédiaire béton plein	1
Autres planchers hauts et intermédiaires	0

Tableau 103 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher haut

6.4.2.2.2 *Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher intermédiaire*

Il s'agit ici uniquement de la face supérieure d'un plancher intermédiaire.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m^2)
Plancher en béton plein d'au moins 25 cm de béton	2
Plancher en béton plein de 20 à 24 cm	1
Plancher en dalles alvéolées de béton de plus de 20 cm avec dalle de béton	1
Autres planchers	0

Tableau 104 – Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher intermédiaire

6.4.2.2.3 *Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher bas*

Ces points sont pris en compte lorsque le niveau du bâtiment (ou de la partie de bâtiment) le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne est situé au rez-de-chaussée.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m^2)
Plancher béton plein sur terre-plein avec isolant périphérique	15
Plancher en béton plein de 20 cm et plus isolé en sous face	7
Plancher en béton plein de 15 cm et plus isolé en sous face	3
Plancher en dalle alvéolée de béton de plus de 20 cm avec dalle de béton et isolé en sous-face	2
Plancher sur entrevous de terre cuite ou de béton avec dalle de béton et isolé en sous-face	1
Autres planchers	0

Tableau 105 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de plancher bas

6.4.2.2.4 *Points d'inertie séquentielle de parois courantes de murs extérieur*

POINTS D'INERTIE SEQUENTIELLE W/(K.m^2)	Surface de paroi ramenée à la surface utile A/Aniv		
DESCRIPTIF PAROI	**$A/A_{niv} > 0,9$**	**$0,9 > A/A_{niv} > 0,5$**	**$0,5 > A/A_{niv} > 0,25$**
Isolation extérieure avec à l'intérieur :			
◊ béton plein 20 cm et plus	7	4	2
◊ béton plein 16 à 20 cm	5	3	1
◊ blocs perforés béton 12,5 cm et plus	3	1	0
◊ brique pleine ou perforée 10,5 cm ou plus	1	0	0
◊ autres briques 15 cm et plus enduites	1	0	0
◊ bloc creux béton	1	0	0
Isolation répartie avec :			
◊ brique de terre cuite à perforations verticales 30 cm ou plus	5	3	1
◊ béton cellulaire	0	0	0
Isolation intérieure	0	0	0

Tableau 106 : Points d'inertie séquentielle de parois courantes de mur

6.4.2.3 *Détermination de la classe d'inertie séquentielle*

La classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, est déterminée par la somme des « points d'inertie » au titre de l'inertie quotidienne et séquentielle des parois qui le compose **:**

Classe d'inertie séquentielle	très légère	légère	moyenne	lourde
Points d'inertie totaux y compris les points d'inertie séquentielle	< 15	15 à 22	23 à 34	35 et plus

Tableau 107 : Classe d'inertie séquentielle d'un bâtiment déterminée par points d'inertie séquentielle

6.4.2.4 *Détermination de C_{ms_surf} et de A_{ms_surf}*

La capacité thermique séquentielle, C_{ms_surf}, et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ms_surf}, sont déterminées à partir de la classe d'inertie en appliquant

CLASSE D'INERTIE SEQUENTIELLE	Capacité séquentielle C_{ms_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{ms_surf} (m²/m²)
• indéterminée (valeur par défaut)	$C_{ms\ surf} = C_{mq\ surf}$	$A_{ms\ surf} = A_{mq\ surf}$
• très légère	$C_{ms\ surf} = C_{mq\ surf}$	$A_{ms\ surf} = A_{mq\ surf}$
• légère	260	2
• moyenne	500	2,5
• lourde	850	3

Tableau 108 Détermination de Cms_surf et d'Ams_surf comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

6.4.3 DETERMINATION DE LA CLASSE D'INERTIE ANNUELLE PAR « POINTS D'INERTIE »

La classe d'inertie annuelle est obtenue à partir de la sommation des points d'inertie quotidienne des parois (et mobilier) du niveau étudié à laquelle **on ajoute des « points d'inertie séquentielle » et à laquelle on ajoute des « points d'inertie annuelle ».**

Les points d'inertie annuelle correspondent au « gain d'inertie annuelle » défini comme l'écart entre l'inertie annuelle (profondeur de pénétration de l'onde annuelle établie sur 365 jours) et l'inertie séquentielle (profondeur de pénétration de l'onde séquentielle établie sur 14 jours).

6.4.3.1 *Points d'inertie annuelle d'une paroi selon le gain annuel surfacique*

Les points d'inertie annuelle d'une paroi peuvent être déterminés à partir du gain annuel surfacique χ_a - χ_s (kJ/m^{2}K) et sa surface ramenée à la surface utile du niveau considéré A/A_{niv} (-) selon le tableau de cotation suivant :

Gain annuel surfacique χ_a-χ_s (kJ/m².K)	100 à 399	400 à 999	1000 à 1999	2000 à 2999	3000 à 4499	4500 et plus
Epaisseur paroi en béton comptée par l'intérieur : e (cm)	45 à 59	60 à 89	90 à 139	140 à 189	190 et +	
Epaisseur paroi en terre comptée par l'intérieur : e (cm)	25 à 34	35 à 49	50 à 69	70 à 99	100 à 129	130 et plus
Points complémentaires d'inertie annuelle pour A/A_{niv}=1	8	24	50	90	120	150

Tableau 109 : Points d'inertie annuelle d'une paroi selon le gain annuel surfacique

avec : A (m^2) la surface de la paroi déduction faite des percements (fenêtres, portes, etc.) ;

A_{niv} (m^2) la surface utile du niveau considéré du bâtiment ou de la zone ;

χ_a, χ_s (kJ/m^{2}K) les capacités thermiques surfaciques de la paroi calculées selon la norme NF EN ISO 13786 avec les compléments précisés au §6.3.1 respectivement pour une période de 365 jours et pour une période de 14 jours ;

e (cm) l' épaisseur de béton plein comptée par l'intérieur jusqu'à un isolant. Si la paroi n'est pas isolée *(ex. : plancher intermédiaire, refend),* l'épaisseur prise en compte est limitée à la moitié.

Cette approche n'est utilisable que pour la détermination des points d'inertie annuelle d'une paroi dans le cadre de la méthode par points d'inertie.

6.4.3.2 *Détermination des points d'inertie annuelle des parois courantes*

En l'absence de la valeur du gain annuel surfacique, le nombre de points d'inertie annuelle donné dans les tableaux suivants peut être retenu.

- Tableau 110 : Plancher bas ;
- Tableau 111 : Murs ;

Remarque : les cloisons et le mobilier ne peuvent contribuer à l'inertie annuelle au-delà de leur inertie quotidienne. Ils ne possèdent donc pas de points spécifiques d'inertie annuelle. Les planchers hauts et intermédiaires sont considérés trop fin pour contribuer à l'inertie annuelle.

Les points d'inertie d'une paroi s'entendent pour l'ensemble de la famille de paroi : par exemple un « plancher bas » de bâtiment représente l'ensemble des parois de plancher du niveau considéré vues par leur face supérieure. Lorsqu'une famille de paroi est constituée de parois ayant une cotation différente en points d'inertie, on retient le nombre de points de la paroi présentant le plus de surface.

6.4.3.2.1 *Points d'inertie annuelle de parois courantes de plancher bas*

Ces points sont pris en compte lorsque le niveau du bâtiment (ou de la partie de bâtiment) le plus défavorisé d'un point de vue inertie quotidienne est situé au rez-de-chaussée.

DESCRIPTIF PAROI	POINTS D'INERTIE ANNUELLE W/(K.m^2)
Plancher sur terre-plein non isolé ou avec isolant périphérique	150
Autres planchers	0

Tableau 110 : Points d'inertie annuelle de parois courantes de plancher bas

6.4.3.2.2 *Points d'inertie annuelle de parois courantes de murs extérieur*

POINTS D'INERTIE ANNUELLE W/(K.m^2)	Surface de paroi ramenée à la surface utile A/Aniv
DESCRIPTIF PAROI	**$A/A_{niv} > 0,9$**
Isolation extérieure avec à l'intérieur :	
◊ terre 50 cm	50
◊ béton plein 100 cm et plus	40

Tableau 111 – Points d'inertie annuelle de parois courantes de murs

6.4.3.3 *Détermination de la classe d'inertie annuelle*

La classe d'inertie annuelle d'un bâtiment, ou d'une partie de bâtiment, est déterminée par la somme des « points d'inertie » au titre de l'inertie quotidienne, séquentielle et annuelle des parois qui le compose **:**

Classe d'inertie annuelle	très légère	légère	moyenne
Points d'inertie totaux y compris les points d'inertie séquentielle et annuelle	< 35	36 à 130	131 et plus

Tableau 112 : Classe d'inertie annuelle d'un bâtiment déterminée par points d'inertie annuelle

6.4.3.4 *Détermination de C_{ma_surf} et de A_{ma_surf}*

La capacité thermique annuelle, C_{ma_surf}, et la surface d'échange avec l'ambiance, A_{ma_surf}, sont déterminées à partir de la classe d'inertie en

CLASSE D'INERTIE ANNUELLE	Capacité annuelle C_{ma_surf} (kJ/(K.m²))	Surface d'échange A_{ma_surf} (m²/m²)
• indéterminée (valeur par défaut)	$C_{ma\ surf} = C_{ms\ surf}$	$A_{ma\_surf} = A_{ms\_surf}$
• très légère	$C_{ma\ surf} = C_{ms\ surf}$	$A_{ma\ surf} = A_{ms\ surf}$
• légère	2000	1
• moyenne	6000	1

Tableau 113 : Détermination de C_{ma_surf} et d'A_{ma_surf} comme valeurs d'entrée des méthodes d'application des réglementations thermiques

ANNEXE V.

PROCÉDURE D'AUTOCONTRÔLE ET D'APPROBATION DES LOGICIELS

PARTIE I : **Formulation d'une demande d'évaluation par un éditeur de logiciel**

Les demandes d'évaluation sont adressées au ministre chargé de la construction.

Le dossier de demande est composé a minima des pièces suivantes :

- une fiche de renseignements portant sur le demandeur et sur le logiciel d'application de la réglementation environnementale 2020 objet de la demande d'évaluation ;

- le domaine exact d'utilisation du logiciel, en matière de type d'usage de bâtiments et de systèmes qu'il est possible de simuler ;

- cinq exemplaires du logiciel à évaluer.

PARTIE II : **Autocontrôle d'un logiciel**

Pour réaliser l'autocontrôle d'un logiciel, son éditeur fait la demande de cas d'étude auprès du ministre chargé de la construction.

Pour réaliser un autocontrôle du logiciel, l'éditeur de logiciel :

- teste la cohérence des résultats fournis par le logiciel avec ces cas d'étude ;
- s'assure de la conformité du format du récapitulatif standardisé d'étude énergétique et environnementale, au sens de l'article 18, généré par le logiciel ;
- réalise un rapport d'autocontrôle et le transmet au ministre chargé de la construction.

Après accusé de réception du rapport complet, les logiciels vérifiés peuvent être utilisés jusqu'au 30 juin 2022, conformément aux dispositions du 4e alinéa de l'article 12. Le rapport est mis en accès libre sur un site internet par le ministre chargé de la construction.

PARTIE III : **Traitement des demandes d'évaluation**

La demande est complétée des résultats des cas d'étude, présentés sous forme de récapitulatif standardisé d'étude énergétique et environnementale au sens de l'article 18 du présent arrêté. Les descriptifs des cas d'étude ainsi que le mode opératoire pour les simuler sont fournis, sur demande, à l'organisme désigné à cet effet par le ministre chargé de la construction. La demande n'est pas considérée complète avant la réception de ces éléments.

Le ministre chargé de la construction évalue la recevabilité de la demande au regard de la complétude du dossier de demande et de la pertinence des résultats obtenus sur les cas de recevabilité vis-à-vis des exigences définies par le présent arrêté.

Le ministre chargé de la construction établit le rapport d'évaluation du logiciel, et peut approuver le logiciel sur la base de ce rapport.

PARTIE IV : **Diffusion du rapport d'évaluation**

Le rapport d'évaluation est transmis au demandeur et mis en accès libre sur un site internet défini par le ministre chargé de la construction.

PARTIE V : **Suivi et demande de mise à jour de l'évaluation**

Quatre mois avant le terme de l'approbation du logiciel, l'éditeur d'un logiciel évalué fournit au ministre chargé de la construction une demande de mise à jour de l'évaluation présentant les adaptations apportées au logiciel d'application de la réglementation environnementale au regard, notamment :

- des éléments mis en avant dans le précédent rapport d'évaluation ;
- des compléments ou modifications apportées aux arrêtés définissant les exigences de la réglementation environnementale et la méthode de calcul spécifiée à l'article 8.

Le traitement de la demande de mise à jour de l'approbation et la diffusion de ce rapport sont identiques à la demande initiale.

ANNEXE VI.

CONTENU DU RÉCAPITULATIF STANDARDISÉ D'ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE ET ENVIRONNEMENTALE

Pour chaque bâtiment relevant du présent arrêté, à l'exception des bâtiments répondant à l'article 7, le récapitulatif standardisé de l'étude énergétique et environnementale est un fichier informatique au format XML, comportant les éléments suivants :

Chapitre 1er : Données administratives du bâtiment

Chapitre 2 : Exigences de performance énergétique et environnementale et caractéristiques thermiques et exigences, comportant

- les valeurs de Bbio, Bbio_max, Cep,nr, Cep,nr_max, Cep, Cep_max, $Ic_{énergie}$, $Ic_{énergie}$_max, $Ic_{construction}$, $Ic_{construction}$_max, DH et DH_max du bâtiment, conformément aux dispositions de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation et de son annexe, ainsi que des Titres I et II du présent arrêté ;
- les valeurs des exigences pour un bâtiment moyen et des modulations, telles qu'obtenues en application de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation et de son annexe, ainsi que des Titres I et II du présent arrêté ;
- la valeur de la surface de référence du bâtiment utilisée dans les calculs ;
- le statut du projet de bâtiment vis-à-vis de chacune des exigences de moyens (par élément), définies au Titre III du présent arrêté, auquel le projet est soumis.

Chapitre 3 : Autres indicateurs prévus par la méthode spécifiée à l'article 8

Chapitre 4 : Détail des entrées et sorties des calculs réglementaires, notamment

- la décomposition des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, par catégorie de paroi (surfaces, orientations, caractéristiques énergétiques...) ;
- la décomposition des caractéristiques des systèmes énergétiques du bâtiment ;
- la décomposition des besoins, consommations et productions d'énergie du bâtiment, entre autres par type d'usage et par énergie ;
- les quantités et références des données environnementales de chaque composant du bâtiment, utilisées pour décrire notamment l'impact sur le changement climatique des composants du bâtiment ;
- pour chaque projet, bâtiment, zones, groupes et locaux, l'intégralité des caractéristiques telles que définies dans la méthode spécifiée à l'article 8 ;
- les paramètres saisis pour le calcul des contributions aux impacts des consommations et rejets d'eau et du chantier de construction.

Chapitre 5, calculé de manière optionnelle : Impact de différents paramètres sur les résultats conventionnels (Bbio, Cep,nr, Cep et DH)

- à titre informatif pour les concepteurs, sensibilités des résultats de calcul à des modifications de caractéristiques techniques du bâtiment ;
- à titre informatif pour les futurs occupants, pour les bâtiments à usage d'habitation, sensibilités des résultats de calcul à des comportements différents des comportements conventionnels servant de base au calcul réglementaire.

Pour chaque bâtiment relevant de l'article 7 du présent arrêté, le récapitulatif standardisé d'étude énergétique et environnementale précise toutes les données utilisées ainsi que les résultats obtenus permettant de justifier du respect du mode d'application simplifié tant du point de vue champ d'application que des dispositions techniques et architecturales à mettre en œuvre. Dans le cas où des exigences de moyens (par élément) sont prévues, il précise également le statut du projet de bâtiment vis-à-vis de chacune des exigences de moyens (par élément) auquel le projet est soumis.

ANNEXE VII.

DÉMARCHE DE QUALITÉ OU MESURE DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DU BÂTIMENT OU DES RÉSEAUX AÉRAULIQUES

PARTIE I : **Mesure de perméabilité à l'air**

Pour tout type de bâtiment, lorsque la perméabilité à l'air du bâtiment ou la perméabilité des réseaux aérauliques est justifiée par la mesure, elle est effectuée conformément au protocole indiqué par le ministre chargé de la construction. Lorsque la perméabilité à l'air du bâtiment ou la perméabilité des réseaux aérauliques est justifiée par la mesure, la personne réalisant la mesure est une personne reconnue compétente par le ministre chargé de la construction. Sont reconnus compétents par le ministre chargé de la construction les opérateurs :

- indépendants du demandeur et des organismes impliqués en exécution, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage sur les bâtiments visés.
- et détenant une qualification professionnelle reconnue par le ministre chargé de la construction et délivrée par un organisme de qualification sous convention avec l'Etat.

Les qualifications professionnelles reconnues répondent aux exigences précisées par le ministre chargé de la construction et sont délivrées par des organismes de qualification sous convention avec l'Etat.

Pour être autorisé par le ministre à réaliser des mesures de perméabilité à l'air du bâtiment ou des réseaux aérauliques, l'opérateur devra notamment avoir suivi et validé une formation reconnue par le ministre chargé de la construction.

PARTIE II : **Démarches de qualité**

La démarche qualité visée par la présente est un processus mis en œuvre par le demandeur visant à atteindre un niveau d'étanchéité à l'air de l'enveloppe ou des réseaux aérauliques.

1. Objet

Cette partie décrit :

- les modalités de justification de la « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques ». Cette démarche qualité fait l'objet d'une certification par un organisme ayant signé une convention à cet effet avec le ministre chargé de la construction ;
- les modalités de conventionnement d'un organisme certificateur et les prérequis de son programme de certification ;
- le contenu du dossier d'étude à établir à l'appui d'une demande de certification d'une « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques ».

Dans la présente annexe, le demandeur désigne l'entité qui fait certifier une « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques ». Le titulaire désigne l'entité dont la démarche qualité est certifiée. Le certificateur désigne tout organisme de certification accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 Septembre 2012 pour cette activité de certification par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation (European Cooperation for Accreditation, ou EA) et ayant signé, au préalable, une convention à cet effet avec le ministre chargé de la construction.

Un organisme certificateur non encore accrédité pour la certification considérée ayant signé une convention avec le ministre chargé de la construction peut commencer cette activité dès lors qu'il a déposé une demande d'accréditation et que le Comité français d'accréditation a admis la recevabilité de cette demande. Il peut continuer à exercer cette activité de certification pendant une durée d'un an maximum à compter de la notification de la recevabilité de sa demande. A défaut d'accréditation obtenue dans ce délai, il cesse ladite activité et les clients qu'il a certifiés obtiennent le transfert de leur certification auprès d'un organisme certificateur accrédité. Ce dernier étudie la demande de transfert et réalise une évaluation appropriée pour établir s'il peut émettre un certificat dont le cycle de certification est repris à la même étape que celle dans laquelle il était auparavant.

2. Justification de la « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment ou des réseaux aérauliques »

Le maître d'ouvrage est en capacité de justifier de la mise en place de la démarche certifiée, en amont de la réalisation du projet.

La démarche qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment peut inclure un ou plusieurs types de bâtiments parmi les suivants :

- maisons individuelles ;
- bâtiments collectifs d'habitation.

La démarche qualité de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques peut inclure un ou plusieurs types de bâtiments parmi les suivants :

- maisons individuelles ;
- bâtiments collectifs d'habitation ;
- bâtiments non résidentiels.

Le demandeur précise le domaine d'application de sa démarche qualité (voir paragraphe 4.2). Une fois titulaire de sa certification, le titulaire pourra faire valoir la valeur certifiée pour toute opération incluse dans ce domaine d'application.

3. Organisme certificateur

Les démarches qualité sont certifiées par un organisme accrédité selon la norme NF EN ISO/ CEI 17065 Septembre 2012 pour cette activité de certification par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou par tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation (European Cooperation for Accreditation, ou EA) et ayant signé une convention avec le ministre chargé de la construction conformément aux modalités définies ci-dessous.

La demande de convention visée à l'alinéa précédent est adressée au ministre chargé de la construction. Elle est assortie d'un dossier répondant aux modalités définies dans la présente annexe.

3.1. *Modalités de conventionnement :*

Tout certificateur souhaitant établir une convention avec l'Etat dans les conditions de l'article 17 pour la certification des démarches de qualité d'étanchéité à l'air adresse une demande de convention au ministre chargé de la construction.

L'accord du ministre sur la demande de convention est délivré au regard :

- de la qualité et de la pertinence du programme de certification. Les attentes vis-à-vis du programme de certification sont précisées dans le paragraphe 3.2 de la présente annexe ;
- de l'expérience, du volume d'activité, de la couverture territoriale, de la notoriété, de la nature et de l'importance des contentieux liés à l'activité de l'organisme certificateur demandant à signer une convention avec le ministre chargé de la construction pour la certification d'une « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques » ;

La demande de convention est accompagnée du (des) programme(s) de certification de(s) démarche(s) qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment ou des réseaux aérauliques et des éléments permettant d'en apprécier la qualité au regard des critères explicités ci-dessus.

La convention peut devenir caduque en cas de changement remettant en cause les critères précités.

Chaque organisme conventionné établit un rapport annuel rendant compte de son activité. Ce rapport est adressé au ministre chargé de la construction avant le 1er juillet de l'année qui suit l'activité dont il rend compte. Le rapport annuel contient a minima les éléments suivants :

- nombre de demandes reçues ;
- nombre de certifications délivrées ;
- délai (moyen, minimum, maximum) entre la réception du dossier et la date à laquelle le certificat (voir 4.2) est délivré ;
- statistiques sur les niveaux de perméabilité à l'air de l'enveloppe demandés ;
- statistiques sur les classes d'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques demandées.

De plus, l'organisme conventionné met en place des échanges réguliers avec le ministre chargé de la construction afin que ce dernier puisse s'assurer de la cohérence et de l'homogénéité des avis rendus.

3.2. *Programme de certification :*

Le programme de certification précise la cible de la certification de démarche qualité, parmi les types de bâtiments concernés (maisons individuelles, bâtiments collectifs d'habitation, bâtiments non résidentiels [pour les réseaux aérauliques uniquement]) et les types d'étanchéités concernées (enveloppe du bâtiment, réseaux aérauliques). La certification peut porter exclusivement sur l'étanchéité à l'air des bâtiments, sur l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques, ou bien sur les deux et elle peut porter sur un

seul ou plusieurs types de bâtiment. Le programme de certification permet au demandeur d'obtenir une certification de sa démarche qualité exclusivement.

3.2.1. Evaluation initiale :

Le programme de certification précise l'organisation ainsi que les modalités d'évaluation des dossiers des demandeurs. L'évaluation d'une demande de certification d'une « démarche qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques » comprend une analyse des documents fournis par le demandeur et un audit in situ effectué en présence du demandeur.

Pour l'évaluation de « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques », le certificateur vérifie :

- que le système de management reprend les principes de la norme ISO 9001 Septembre 2015 ;
- la complétude du dossier vis-à-vis les éléments listés dans le paragraphe 4 ;
- la cohérence, la complétude et la conformité de la démarche qualité proposée, d'un point de vue de la planification, de la réalisation, de la vérification et de la correction, conformément, a minima, aux éléments listés dans le paragraphe 4 de la présente annexe ;
- la traçabilité de la démarche qualité : chaque étape, a minima celles listées dans le paragraphe 4, est traçable ;
- l'application de la démarche qualité sur un échantillon de bâtiments (défini dans le paragraphe 4.2) :
    - vérification que les bâtiments appartiennent au domaine d'application ;
    - conformité des mesures de perméabilité à l'air vis-à-vis des textes réglementaires et normatifs en vigueur ;
    - résultats des mesures de perméabilité à l'air.

Lors de l'audit in situ, le certificateur évalue a minima :

- la capacité du demandeur à répondre aux questions de l'auditeur ;
- les documents traçant l'application de la démarche qualité sur un panel des bâtiments : notamment les clauses contractuelles, la sensibilisation des entreprises, les formations, les documents de suivi de chantier et les suites données aux écarts et non-conformités. Ces documents sont conformes à ce qui est prévu dans la démarche qualité et répondent a minima aux éléments listés dans le paragraphe 4. Le panel de bâtiment est défini dans le programme de certification ;
- le suivi des écarts, la planification et le suivi des actions et des améliorations de la démarche. Cette planification et ce suivi sont conformes à ce qui est prévu dans la démarche qualité.

L'audit in situ de « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques » est réalisé selon les principes de la norme NF EN ISO 19011 Juillet 2018 en présence du demandeur.

Le certificateur peut analyser tout autre élément permettant de justifier la qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment ou des réseaux aérauliques.

En particulier, si la démarche qualité concerne les réseaux aérauliques, le programme de certification peut prendre en compte les certifications volontaires de produit(s) gérées par des organismes de certification accrédités selon la norme NF EN ISO/CEI 17065 Septembre 2012 pour cette activité de certification par le Comité français d'accréditation (COFRAC) ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes

d'accréditation (European Cooperation for Accreditation, ou EA), ou les avis techniques couvrant tout ou partie des équipements utilisés pour les réseaux aérauliques et couvrant les aspects liés à l'étanchéité à l'air.

En cas d'évaluation positive, l'organisme délivre un certificat mentionnant les dates de validité et le domaine d'application du certificat. Le certificat est valable au maximum trois ans. A l'issue de l'examen de la démarche lors du renouvellement périodique, un nouveau certificat est délivré.

3.2.2. Surveillance des certifications :

Le programme de certification précise l'organisation mise en place par le certificateur pour la surveillance des certifications. Cette surveillance permet que chaque titulaire de certificat soit contrôlé durant la période de validité de son certificat.

La surveillance consiste à minima en la réalisation de mesures de perméabilité à l'air, réalisées sur des opérations ayant appliqué la démarche qualité certifiée. Ces mesures sont effectuées par des mesureurs reconnus compétents par le ministre chargé de la construction, et sont réalisées conformément aux normes en vigueur et à leurs documents d'application.

La surveillance consiste également en la vérification de l'application de la démarche sur certains chantiers choisis de manière aléatoire, à travers les documents de traçabilité.

3.2.3. Renouvellement des certifications :

Le programme de certification précise également l'organisation et les modalités de l'évaluation pour le renouvellement des certifications. Cette évaluation périodique contiendra un audit in situ et une analyse documentaire. La fréquence d'évaluation est fixée par le certificateur et est inférieure à trois ans.

L'audit in situ de renouvellement d'une « démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques » certifiée est réalisé selon les principes de la norme NF EN ISO 19011 Juillet 2018 en présence du demandeur.

Lors de l'évaluation, le certificateur analyse a minima les éléments contenus dans le paragraphe 5 de la présente annexe, avec notamment :

- la démarche qualité actualisée. La cohérence globale, la traçabilité et le respect des principes mentionnés dans le paragraphe 4 seront évalués ;
- le système de management reprenant les principes de la norme ISO 9001 Septembre 2015 ;
- l'application de la démarche qualité sur l'échantillon de bâtiments ou de réseaux aérauliques défini dans le paragraphe 4.2, achevés entre la date du dernier examen de la démarche et la date de l'audit de renouvellement en question :
    - documents traçant l'application de la démarche qualité sur un panel des bâtiments. Ce panel sera défini dans le programme de certification ;
    - vérification que les bâtiments appartiennent au domaine d'application ;
    - conformité des mesures de perméabilité à l'air vis-à-vis des textes réglementaires et normatifs en vigueur ;
    - résultats des mesures de perméabilité à l'air ;
    - l'amélioration continue de la démarche, comme explicitée dans le paragraphe 4.2 de la présente annexe.

3.2.4. Exigences s'appliquant aux auditeurs et mesureurs :

Le programme précise, en outre, les exigences vis-à-vis des auditeurs, d'un point de vue de leurs compétences, de leurs qualifications et de leurs formations.

Les auditeurs analysant les dossiers initiaux, les dossiers de renouvellement ainsi que les auditeurs missionnés pour la surveillance des certifications sont :

- indépendants du demandeur et des organismes impliqués en exécution, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage ;
- compétents sur les principes d'un audit au sens de la norme NF EN ISO 19011 Juillet 2018 ;
- compétents sur la thématique de la perméabilité à l'air de l'enveloppe ou des réseaux aérauliques.

Les mesureurs pour la surveillance des certifications sont :

- indépendants du demandeur et des organismes impliqués en exécution, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage,
- reconnus compétents par le ministre chargé de la construction.

3.2.5. Procédure de retrait ou de suspension des certifications :

L'organisme sous convention avec l'Etat établit les procédures visant à la suspension ou au retrait de la certification du demandeur en cas de manquements réguliers à l'atteinte de l'objectif fixé, de non-respects avérés de la démarche qualité, de non-fourniture des documents nécessaires au renouvellement de la certification, ou de démarche frauduleuse.

4. Contenu de la (des) démarche(s) qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques ou de la démarche qualité ventilation

4.1. *Qualité du demandeur :*

Le demandeur est toute personne morale concernée par des opérations de construction de bâtiments et représentant une seule entité juridique. Il peut être un constructeur, un industriel ou un autre professionnel.

Le demandeur est garant du respect des exigences et du résultat de la démarche.

Le demandeur peut correspondre à une entité commerciale unique ou, au contraire, à une entité commerciale principale à laquelle un certain nombre d'entités commerciales secondaires seraient rattachées (succursales, agences, filiales, …), sous la même dénomination principale ou non.

Dans la situation d'une seule entité commerciale, celle-ci fait l'objet d'une seule demande de certification de sa démarche qualité.

Dans la situation de plusieurs entités commerciales, dont une peut être principale (avec ou sans activité opérationnelle qui lui est propre) et plusieurs entités commerciales secondaires (l'ensemble des entités secondaires ou seulement quelques-unes expressément définies), celles-ci font l'objet d'une seule demande de certification de sa démarche qualité s'il n'y a aucune ambiguïté sur les entités commerciales concernées par la demande de certification.

4.2. *Eléments à fournir par le demandeur :*

Le demandeur précise :

- le domaine d'application de la démarche qualité en indiquant :
    - Pour les démarches qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment : le type de bâtiments, les marques et/ou filiales concernées (si plusieurs), le type constructif, le nombre de

niveaux, les limites de leur volumétrie, tout autre critère présentant une diversité constructive parmi les bâtiments concernés et pouvant avoir un impact sur l'étanchéité à l'air et, si nécessaire, les éléments d'ouvrage exclus ;

- Pour les démarches qualité de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques : le type de bâtiments, les marques et/ou filiales concernées (si plusieurs),le(s) type(s) de système de ventilation, le(s) type(s) de conduit, le(s) sections, la tenue mécanique ainsi que l'ensemble des composants du réseau aéraulique dont, notamment, les composants réalisant la connexion entre le groupe moto ventilateur et le réseau aéraulique, entre le réseau et les terminaux, ainsi que tous les autres composants constituant le réseau aéraulique et, si nécessaire, les éléments exclus.

– la perméabilité à l'air maximale garantie pour l'enveloppe en application de la démarche sans mesure systématique. Cette perméabilité est dénommée « valeur limite de l'étanchéité à l'air du bâtiment ». Ce niveau est inférieur ou égal à 0,6 $m^3/(h.m^2)$ sous 4 Pa en maison individuelle, à 1 m^3 /($h.m^2$) sous 4 Pa en bâtiment collectif d'habitation et est un multiple de 0,1. Il ne peut pas être inférieur à 0,3 $m^3/(h.m^2)$ sous 4 Pa. Le demandeur peut distinguer différentes valeurs limites d'étanchéité à l'air en fonction des caractéristiques architecturales et constructives notamment, dans la limite de leur représentativité dans le volume total de production ;

– la classe d'étanchéité à l'air maximale garantie pour les réseaux aérauliques en application de la démarche sans mesure systématique. Cette perméabilité est dénommée « classe limite de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ». Ce niveau correspond à une classe, conformément aux normes NF EN 12237 Juin 2003 ou NF EN 1507 Juillet 2006, hors classe D.

Ces informations font partie du domaine d'application et sont reportées sur le certificat.

Le demandeur fournit le descriptif des dispositions organisationnelles mises en place, au regard des principes de la norme ISO 9001 Septembre 2015, pour :

- s'assurer que l'objectif d'étanchéité à l'air ainsi que le respect des dispositions de la démarche qualité sont précisés dans la consultation des entreprises et dans les contrats de sous-traitance ;
- identifier les solutions techniques permettant de traiter l'étanchéité à l'air des points sensibles liés aux caractéristiques architecturales et techniques de son domaine d'application et ayant un impact sur l'étanchéité à l'air ;
- justifier que les dispositions techniques et architecturales sont compatibles avec les normes en vigueur ;
- sensibiliser et informer les professionnels intervenant sur le chantier sur la façon dont les liaisons sensibles sont traitées ;
- former à la démarche qualité de l'étanchéité à l'air en vigueur, toutes les personnes impliquées par son application, dans et hors de son entité juridique ;
- planifier les points d'arrêts pour :
    - vérifier la pose correcte des matériaux de construction, équipements, composants, et produits d'étanchéité au cours du chantier conformément aux détails constructifs notamment ;
    - vérifier la correcte application de la démarche qualité ;
- lever tous les écarts constatés, qu'il s'agisse d'écarts sur le chantier ou d'écarts par rapport à la démarche qualité ;

- documenter la vérification des points traités lors des points d'arrêts et plus généralement lors des visites de chantier ;
- référencer l'ensemble des bâtiments ou des réseaux aérauliques sur lesquels cette démarche a été appliquée ou est en cours ainsi que les caractéristiques techniques et architecturales ayant un impact sur l'étanchéité à l'air et les résultats des tests d'étanchéité à l'air ;
- faire réaliser des mesures par un ou plusieurs organismes indépendants sur une partie de la production annuelle des bâtiments ou des réseaux aérauliques construits en appliquant la démarche qualité conformément au paragraphe 4.3 de la présente annexe ;
- améliorer en continu la démarche qualité, en analysant les dysfonctionnements, les écarts constatés, sur le chantier ou vis-à-vis de la démarche qualité, afin qu'ils ne soient pas réitérés. Notamment, une mesure non conforme à l'objectif ou un lieu de fuite répétitif fait l'objet de cette analyse ;
- documenter l'amélioration continue définie ci-dessus ;
- informer toute personne concernée de l'évolution de tout ou partie de la démarche qualité ;
- justifier de l'application de la démarche auprès du certificateur conformément au paragraphe 5 de la présente annexe et aux exigences du programme de certification du certificateur.

Par ailleurs, le demandeur joint :

– un document organisationnel structurant la démarche de qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques, et répondant à minima aux points cités ci-dessus. Ce document organisationnel décrit l'intégralité de la démarche qualité et peut renvoyer vers des documents supports. L'ensemble des documents décrivant la démarche qualité et traçant son application est fourni ;

– la liste de l'ensemble des bâtiments ou des réseaux aérauliques, sur lesquels cette démarche a été appliquée ;

– un dossier de mesure, décrit au paragraphe 4.3 de la présente annexe, pour un nombre minimal de bâtiments ou, le cas échéant, de réseaux aérauliques, et de permis de construire correspondant au domaine d'application. Le nombre minimal de mesures est calculé en fonction de la production annuelle de bâtiments ou, de réseaux aérauliques, sur laquelle la démarche est prévue d'être appliquée, selon la formule suivante :

  Pour les démarches qualité sur l'étanchéité à l'air de l'enveloppe des bâtiments :

  - Pour les maisons individuelles :
    - si Nprod ≤ 500 bâtiments : Ntests = 5 + 10 % Nprod, arrondi à l'entier supérieur ;
    - si Nprod> 500 bâtiments : Ntests = 55 + 5 % (Nprod - 500), arrondi à l'entier supérieur;
  - Pour les bâtiments collectifs :
    - si Nprod ≤ 50 bâtiments : Ntests = 30 % Nprod, arrondi à l'entier supérieur;
    - si Nprod> 50 bâtiments : Ntests = 15 + 15 % (Nprod - 50), arrondi à l'entier supérieur.

  Pour les démarches qualité sur l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques :

- Pour les maisons individuelles :
  - Nprod ≤ 500 bâtiments : Ntests = 5 + 10 % Nprod, arrondi à l'entier supérieur;
  - si Nprod> 500 bâtiments : Ntests = 55 + 5 % (Nprod - 500), arrondi à l'entier supérieur;
- Pour les bâtiments collectifs et bâtiments non résidentiels :
  - si Nprod ≤ 50 bâtiments : Ntests = 30 % Nprod, arrondi à l'entier supérieur ;
  - si 50 < Nprod ≤ 500 bâtiments : Ntests = 15 + 10 % (Nprod - 50), arrondi à l'entier supérieur ;
  - si 500 < Nprod ≤ 5000 bâtiments : Ntests = 60 + 6% (Nprod - 500), arrondi à l'entier supérieur ;
  - si Nprod > 5000 bâtiments : Ntests = 330 + 3% (Nprod - 5 000), arrondi à l'entier supérieur.

Avec

Nprod : production annuelle moyenne de bâtiments concernés par la demande

Ntests : nombre minimum de bâtiments testés.

Le nombre de réseaux aérauliques à tester par bâtiment est conforme aux normes en vigueur et à leurs documents d'application.

Le nombre de permis de construire correspondant aux bâtiments testés est supérieur à la moitié du nombre de bâtiments testés.

4.3. *Composition du dossier de mesures concernant la perméabilité à l'air de bâtiments ou des réseaux aérauliques élaborés selon la démarche qualité :*

Le dossier de mesures de la perméabilité à l'air des bâtiments testés comprend :

- si la démarche qualité concerne l'enveloppe des bâtiments, les mesures sont réalisées conformément à la norme EN ISO 9972 Octobre 2015 et à ses documents d'application. Ces mesures sont réalisées par des personnes reconnues compétentes par le ministre chargé de la construction, et indépendantes du demandeur ou des organismes impliqués en exécution, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage sur les bâtiments visés pour les quantités minimales mentionnées dans le paragraphe 4.2 de la présente annexe.

  Le dossier précise la méthode retenue pour écarter tout risque de sélection d'un échantillon biaisé. Les bâtiments ou réseaux aérauliques ayant fait l'objet d'une mesure sont représentatifs de la production de bâtiments et réseaux aérauliques soumise à la démarche qualité. Pour cela, l'échantillonnage est réalisé à partir des critères contenus dans le domaine d'application de la démarche qualité dont obligatoirement les critères suivants :

- le type de bâtiment ;
- les marques et/ou filiales concernées (si plusieurs) ;
- le type de système de ventilation, le cas échéant ;
- le type de conduit, le cas échéant ;
- le nombre de niveaux ;

– la localisation géographique (selon la diversité relative à l'organisation de la structure ou des filiales);

– les caractéristiques architecturales et constructives ayant un impact important sur le traitement de l'étanchéité à l'air.

Le demandeur veille à respecter les critères pertinents pour l'échantillonnage et veille à garantir parfaitement la représentativité sur ces critères. Les règles d'échantillonnage prévues par les normes et leurs documents d'application pour la mesure d'opérations de maisons individuelles groupées ne s'appliquent pas.

- si la démarche qualité concerne les réseaux aérauliques, les mesures sont réalisées conformément au fascicule documentaire FD E 51-767 Mai 2017 et ses normes associées. Ces mesures sont réalisées par des personnes reconnues compétentes par le ministre chargé de la construction, et indépendantes du demandeur ou des organismes impliqués en exécution, maîtrise d'œuvre ou maîtrise d'ouvrage sur les bâtiments visés pour les quantités minimales mentionnées dans le paragraphe 4.2 de la présente annexe. Les règles d'échantillonnage sont identiques à celles citées ci-dessus ;

– le cas échéant, un histogramme présentant, en abscisse et par classe de 0,05 $m^3/(h.m^2)$ sous 4 Pa, les valeurs mesurées de perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments et en ordonnée le nombre de bâtiments ayant ce niveau de perméabilité. Cet histogramme illustre la performance des valeurs mesurées pour démontrer le respect systématique de la valeur limite pour l'ensemble des constructions soumises à la démarche qualité ;

– le cas échéant, un histogramme présentant, en abscisse, les classes d'étanchéité des réseaux aérauliques définies selon la norme d'essai et, en ordonnée, le nombre de réseaux conformes à cette classe.

Chacune des perméabilités de bâtiment mesurées est inférieure ou égale à la « valeur limite de l'étanchéité à l'air du bâtiment ».

Chacune des perméabilités des réseaux aérauliques mesurées est meilleure ou au moins égale à la « classe limite de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ».

5. Renouvellement de la certification de la démarche qualité de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou des réseaux aérauliques ou de la démarche qualité ventilation

La certification est accordée pour une durée limitée définie par le certificateur de 3 ans maximum. Le renouvellement de la certification est soumis à examen régulier de la démarche qualité par le certificateur, selon les modalités définies par lui.

Le renouvellement de la certification repose a minima sur la fourniture des documents suivants :

- tous les documents de la démarche qualité en vigueur ;

- le document traçant l'amélioration continue, définie dans le paragraphe 4.2 de la présente annexe ;

- la liste des bâtiments sur lesquels la démarche a été appliquée dans la période écoulée depuis le dernier examen de la démarche ;

- si la démarche qualité concerne l'enveloppe des bâtiments, les rapports des mesures réalisées conformément à la norme EN ISO 9972 Octobre 2015 et à ses documents d'application. Les exigences sur la réalisation des mesures sont identiques à celles précisées dans le paragraphe 4.3. Un nombre minimal de bâtiments appliquant la démarche qualité d'étanchéité à l'air subit

une mesure de perméabilité à l'air. Ce nombre minimal est déterminé de la même façon que pour le dossier de demande (voir paragraphe 4.2 de la présente annexe) ;

- si la démarche qualité concerne les réseaux aérauliques, les rapports des mesures réalisées conformément au fascicule documentaire FD E 51-767 Mai 2017 et ses normes associées . Les exigences sur la réalisation des mesures sont identiques à celles précisées dans le paragraphe 4.3. Un nombre minimal de réseaux appliquant la démarche qualité d'étanchéité à l'air subit une mesure de perméabilité à l'air. Ce nombre minimal est déterminé de la même façon que pour le dossier de demande (voir paragraphe 4.2 de la présente annexe) ;
- le dispositif mis en œuvre en cas d'écart ou de non-conformité vis-à-vis de la démarche qualité ;
- l'histogramme des valeurs mesurées, décrit dans le paragraphe 4.3, et couvrant les mesures réalisées entre la date du dernier examen de la démarche qualité et la date de l'audit de renouvellement. Les histogrammes des périodes précédentes seront également fournis et clairement identifiés.

Chacune des perméabilités de bâtiment mesurées est inférieure ou égale à la « valeur limite de l'étanchéité à l'air du bâtiment ».

Chacune des perméabilités des réseaux aérauliques mesurées est meilleure ou au moins égale que la « classe limite de l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques ».

Préalablement à l'évaluation pour le renouvellement, le demandeur peut proposer, sous réserve de le justifier par les résultats obtenus et si nécessaire par l'évolution adaptée de la démarche qualité :

- une étanchéité à l'air du bâtiment et/ou des réseaux aérauliques, meilleure que l'étanchéité initialement agréée ;
- une révision du domaine d'application, sous réserve de le justifier par les résultats obtenus et par l'évolution adaptée de la démarche qualité.

Dans ce cas, le titulaire fournit les documents correspondants avant l'évaluation pour le renouvellement.

De même, tout titulaire a la possibilité de formuler une demande d'extension/révision de son domaine d'application, sous conditions de justifier la demande par les résultats obtenus, et par l'évolution adaptée de la démarche qualité en cohérence avec le programme de certification.

ANNEXE VIII.

MODALITÉS DE VÉRIFICATION DES SYSTÈMES DE VENTILATION

La vérification des systèmes de ventilation prévue à l'article 20 du présent arrêté est réalisée, après achèvement de tous les travaux pouvant impacter le système de ventilation, conformément au protocole indiqué par le ministre chargé de la construction sur son site internet et pour son domaine d'application.

La vérification des systèmes de ventilation est réalisée par un opérateur reconnu compétent par le ministre chargé de la construction. Sont reconnus compétents par le ministre chargé de la construction les personnes détenant une qualification professionnelle reconnue par le ministre chargé de la construction et délivrée par un organisme de qualification sous convention avec l'Etat, et étant :

- opérateurs de mesures indépendants du demandeur et des organismes intervenant en exécution, suivi des travaux, ou maîtrise d'ouvrage,

- ou opérateurs de mesures d'une entreprise ayant la responsabilité de l'ensemble du lot ventilation ou du système de ventilation de l'opération contrôlée, c'est-à-dire tout ce qui contribue à l'arrivée ou au soufflage d'air neuf, à la circulation de l'air, l'extraction et le rejet de l'air vicié.

Les qualifications professionnelles reconnues répondent aux exigences précisées par le ministre chargé de la construction sur son site internet et sont délivrées par des organismes de qualification sous convention avec l'Etat. Pour être autorisé par le ministre à réaliser des vérifications des systèmes de ventilation, l'opérateur a notamment suivi et validé une formation reconnue par le ministre chargé de la construction.

ANNEXE IX.

DOSSIER D'ÉTUDES POUR LA PROPOSITION DE MODES D'APPLICATION SIMPLIFIÉS

Cette annexe décrit le contenu du dossier d'étude à établir à l'appui d'un mode d'application simplifié, au sens du Titre IV du présent arrêté.

PARTIE I : **Eléments à fournir par le demandeur**

Le demandeur fournit :

- le descriptif du mode d'application simplifié dans la forme prévue pour sa diffusion ;

- le domaine d'application visé par le mode d'application simplifié : en particulier peuvent être précisés les limites de volumétrie des bâtiments, les ratios de baies, les zones climatiques (définies au chapitre IV de l'annexe à l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation), les conditions d'exposition au bruit (définies au chapitre V de l'annexe à l'article R. 172-4 du même code) ainsi que les systèmes énergétiques pour le chauffage, la ventilation et l'eau chaude sanitaire ;

- les éléments permettant de s'assurer que l'utilisateur d'un mode d'application simplifié pourra facilement et sans risque d'erreur appliquer ce mode d'application simplifié ;

- les éléments permettant de s'assurer que l'application du mode d'application simplifié permet bien de respecter les exigences décrites au Titre III du présent arrêté ;

- un dossier de calcul, décrit à la Partie III : de la présente annexe, justifiant les niveaux de performance revendiqués pour le mode d'application simplifié en ce qui concerne le respect de tout ou partie des exigences relatives au domaine défini, définies à l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation et déterminées selon les modalités précisées à l'annexe de ce même article et au Titre II du présent arrêté ;

- dans le cas où le mode d'application simplifiée consiste notamment en un outil de calcul, le contenu et le format du fichier informatique permettant notamment de décrire les données d'entrée et de sortie de cet outil.

PARTIE II : **Variante par rapport à un mode d'application simplifié déjà agréée**

Dans le cas où un mode d'application simplifié serait une variante d'un mode d'application simplifié déjà agréé, le demandeur fera référence à celui-ci et pourra ne fournir que les éléments complémentaires à ceux donnés lors de la demande d'agrément précédente.

La forme de la variante (mise en pages, typographie...) et sa structure devront être cohérentes avec celles du mode d'application simplifié déjà agréé de façon à éviter tout risque de confusion lors de l'utilisation de la variante.

PARTIE III : **Composition du dossier de calcul**

Le dossier de calcul comprend, pour chaque mode d'application simplifié proposé :

- les caractéristiques énergétiques et environnementales revendiquées pour les différents composants constituant le mode d'application simplifié tel qu'il est décrit ;

- les valeurs par défaut utilisées pour les calculs ;

- les valeurs décrites au chapitre II de l'annexe de l'article R. 172-4 du code de la construction et de l'habitation du présent arrêté, pour une série de bâtiments représentatifs des domaines d'application visés par le mode d'application simplifié ;

- la comparaison des résultats obtenus par le mode d'application simplifiée avec ceux obtenus avec l'application de la méthode prévue à l'article 8 ;

- les valeurs moyennes minimales et maximales des coefficients obtenus.

ANNEXE X.
DOSSIER D'ÉTUDES POUR LES CAS PARTICULIERS

PARTIE I : **Objet**

La présente annexe décrit le contenu du dossier d'étude des projets de construction, des systèmes et des réseaux de chaleur ou de froid spécifiés au Titre V du présent arrêté, fourni à l'appui de la demande d'approbation auprès du ministre chargé de l'énergie et du ministre chargé de la construction.

Pour les réseaux de chaleur ou de froid spécifiés au Titre V du présent arrêté, les demandes d'approbation portent exclusivement sur l'approbation d'une valeur temporaire de contenu en CO2 des kWh de chaleur ou de froid livrés à ses sous-stations, et du ratio d'énergie renouvelable ou de récupération des kWh de chaleur (permettant le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire) livrés à ses sous-stations.

Au sens de l'article 43, une évolution importante du facteur d'émission d'un réseau de chaleur ou de froid consiste en une évolution prévisible, due à des travaux de modification du réseau de chaleur ou de froid, à un horizon inférieur à cinq ans, du facteur d'émission, d'au moins 15 gCO2/kWh livré en sous-station.

PARTIE II : **Eléments à fournir par le demandeur**

La demande peut être faite uniquement pour les cas prévus à l'article 43.

1. Demande pour un projet de construction

Le demandeur fournit obligatoirement :

- le descriptif du projet de construction concerné, avec ses plans ;

- la liste des données d'entrée pour la partie de la méthode de calcul qui est applicable ;

- une description détaillée des raisons qui rendent la méthode de calcul inapplicable pour les autres parties ;

- le récapitulatif standardisé d'étude énergétique et environnementale, en saisissant le bâtiment de manière dégradée pour les parties pour lesquelles la méthode de calcul est inapplicable ;

- l'explication de la manière avec laquelle ont été saisis de manière dégradée, dans l'outil d'application de la réglementation, les éléments du projet non modélisables ;

- la justification détaillée des modalités de prise en compte et de la performance attendue pour les parties non modélisables.

Le dossier justifie du niveau de performance prétendu de l'opération, donc du respect de toutes les exigences de la réglementation, aussi bien en matière d'exigences de performances globales que d'exigences de moyens (par élément). L'approbation, le cas échéant, valide uniquement le respect du présent arrêté, sur la base des pièces justificatives fournies.

2. Demande pour un système particulier

Le demandeur fournit obligatoirement :

- un descriptif du système considéré accompagné des éléments permettant d'évaluer ses performances énergétiques, notamment en vue de l'intégration ultérieure de ce système dans les méthodes de calcul ; ces éléments incluent un retour d'expérience de l'installation du système pour au moins trois projets de construction conformes au présent arrêté, ou aux arrêtés du 26 octobre 2010 ou du 28 décembre 2012 susvisés ;

- un descriptif des éléments du système qui ne sont pas pris en compte au travers de la méthode de calcul ;

- un descriptif du champ d'application de ce système ;

- la liste des données d'entrée pour les parties de la méthode de calcul qui sont applicables ;

- une description détaillée des raisons qui rendent la méthode de calcul inapplicable pour les autres éléments du système ;

- une proposition d'adaptation de la méthode de calcul permettant de traiter le système considéré accompagnée d'au moins un exemple d'application numérique ; cette proposition est mise en relation avec le retour d'expérience susmentionné.

3. Demande pour un réseau de chaleur ou de froid

Le demandeur fournit obligatoirement :

- un descriptif du réseau de chaleur ou de froid considéré accompagné des éléments permettant d'évaluer, initialement et dans la durée, ses performances énergétique et environnementale, notamment du fait de son approvisionnement en énergie, de la performance de ses générateurs, de la performance de sa distribution et de ses consommations d'auxiliaires, et du volume prévisionnel de chaleur et de froid livrés ;

- une proposition de contenu en CO2 des kWh livrés aux sous-stations du réseau, et de ratio d'énergie renouvelable et de récupération, basée notamment sur les facteurs d'émission prévus à l'article 10 ;

- un engagement à répondre, de manière annuelle et durant cinq ans à compter de la mise en service du réseau, à l'enquête annuelle des réseaux de chaleur et de froid.

ANNEXE XI.

PERFORMANCES FORFAITAIRES DE CERTAINS LOTS

1. Maisons individuelles ou accolées

Il est possible d'utiliser les valeurs suivantes pour décrire l'impact de l'ensemble des composants relevant des lots ou sous-lots mentionnés ci-après et définis par la méthode spécifiée à l'article 8.

	Impact sur le changement climatique par phase du cycle de vie du bâtiment (kg éq. CO2/m²)				
Phase du cycle de vie / Lot ou sous-lot	Production	Edification	Exploitation	Fin de vie	Module D
8.1 (Équipements de production chaud/froid hors cogénération)	61	0	106	3	0
10 (Réseaux d'énergie / courant fort)	50	0	45	3	0
11 (Réseaux de communication / courant faible)	1	0	1	0	0

2. Logements collectifs

Il est possible d'utiliser les valeurs suivantes pour décrire l'impact de l'ensemble des composants relevant des lots ou sous-lots mentionnés ci-après et définis par la méthode spécifiée à l'article 8.

	Impact sur le changement climatique par phase du cycle de vie du bâtiment (kg éq. CO2/m²)				
Phase du cycle de vie / Lot ou sous-lot	Production	Edification	Exploitation	Fin de vie	Module D
8.1 (Équipements de production chaud/froid hors cogénération)	16	0	57	1	0
10 (Réseaux d'énergie / courant fort)	24	0	23	1	0
11 (Réseaux de communication / courant faible)	1	0	1	0	0

ANNEXE XII.

PERFORMANCE PAR DÉFAUT DES ISOLANTS BIO-SOURCÉS

A défaut de pouvoir justifier une valeur de conductivité thermique utile d'un isolant bio-sourcé définie selon les modalités précisées à l'article 15 du présent arrêté, la valeur à utiliser est la valeur par défaut définie dans le tableau ci-après :

TYPE D'ISOLANT		MASSE VOLUMIQUE SÈCHE (r) en kg/m³	CONDUCTIVITÉ THERMIQUE UTILE (λ) en W/(m.K)
Isolants dérivés du bois	Liège défini conformément à la norme NF ISO 633 Avril 2019 - comprimé - expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB) Février 2013 - expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques	$\rho \leq 500$	0,10
		$100 \leq \rho \leq 150$	0,049
		$100 \leq \rho < 150$	0,049
		$150 \leq \rho \leq 250$	0,055
	Panneaux de fibres de bois définis selon la norme NF EN 316 Mai 2009	$750 \leq \rho \leq 1\,000$	0,20
		$550 \leq \rho \leq 750$	0,18
		$350 \leq \rho \leq 550$	0,14
		$200 \leq \rho \leq 350$	0,10
		$\rho \leq 200$	0,07
	Panneaux de laine de bois - panneaux de laine de bois agglomérés avec un liant hydraulique, définis conformément à la norme NF EN 13168+A1 Mars 2015 - panneaux de laine de bois agglomérés	$350 \leq \rho \leq 450$	0,10
		$30 \leq \rho \leq 350$	0,08
		$450 \leq \rho \leq 600$	0,10
Isolants à base de fibres végétales	Cellulose	$20 \leq \rho \leq 100$	0,049
	Chanvre et lin - fibres liées - fibres lâches (isolant en vrac, fibres non liées)	$20 \leq \rho \leq 200$	0,048
			0,056
	Paille comprimée - transversalement au sens de la paillette - dans le sens de la paille	$80 \leq \rho \leq 120$	0,052
			0,080
	Autres isolants à base de fibres végétales	$20 \leq \rho < 40$	0,065
		$40 \leq \rho < 60$	0,060
		$60 \leq \rho < 200$	0,065
Isolants à base de fibres animales	Laine de mouton	$10 \leq \rho < 100$	0,046
	Autres isolants à base de fibres animales	$10 \leq \rho < 20$	0,065
		$20 \leq \rho < 50$	0,060
		$50 \leq \rho < 100$	0,050