

ANNEXE 3
Fiche Algorithmique n°2 « Modules ECS et chauffage direct »

1. NOMENCLATURE DU MODELE

Entrées ¹				
Nom	Description	Unité	Intervalle ²	Def ³
$\theta_{ext}(h)$	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		
$A^{gr,em-e}$	Surface d'un groupe desservi par un émetteur ECS équivalent relié à cette distribution intergroupe	m ²		
$Q_{w_2nd-e}^{ds-e}(h)$	Besoin d'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		
$q_{eff}^{ds}(h)$	Débit volumique dans le réseau du groupe en chauffage	m ³ /h		
$\theta_{dep}^{ds}(h)$	Température de départ du réseau du groupe ds , pour le chauffage	°C		
$\theta_{ret}^{ds}(h)$	Température de retour du réseau du groupe ds , pour le chauffage	°C		
$Q_{sys_ch}^{ds}(h)$	Energie requise par le réseau du groupe ds en chauffage	Wh		
$Mod_{pertes}^{ds}(h)$	Coefficient de modulation des pertes du réseau des groupes	Réel	0 - 1	

¹ Valeurs opérées par d'autres modules.

² Les intervalles donnent les limites les plus larges autorisées pour le calcul. Sauf mentions contraire, le test de compatibilité est fait dans le code, pour debuggage uniquement. Préciser l'exclusion des bornes ([...], [...] etc.).

³ Valeur par défaut.

Paramètres d'intégration du module ⁴				
Nom	Description	Unité	Intervalle ⁵	Def
$id_{fonction}$	Fonction du réseau de distribution intergroupes mixte : <i>1 : ECS seule,</i> <i>2 : ECS et chauffage direct,</i> <i>3 : ECS et chauffage indirect.</i>		-	1 - 3
$\delta_{M_ech_ECS_temp}$	Indicateur de maintien en température de l'échangeur ECS : 0 : pas de maintien en température 1 : maintien en température	-	0 - 1	
id_{circ}	Mode de régulation du circulateur : <i>0 : Pas de circulateur,</i> <i>1 : Vitesse constante,</i> <i>2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle,</i> <i>3 : Vitesse variable et variations de la pression différentielle du réseau.</i>	-	0 - 3	
a, b, c	Coefficients caractéristiques de l'échangeur ECS par module	-	-	-
$\theta_{in_prim_nom}$	Température de départ du réseau intergroupes	°C	>50°C	-
$q_{maintien\ échangeur\ ECS}$	Débit de maintien en température d'un échangeur ECS	m ³ /h	-	-
Nb_{mod}	Nombre de modules raccordés au réseau intergroupes	-	-	-
$\theta_{outprimmaintien\ échangeur\ ECS}$	Température nominale de sortie du module en mode de maintien en température de l'échangeur ECS	°C	-	-
$\epsilon_{p_{iso\ échangeur\ ECS}}$	Épaisseur de l'isolant recouvrant l'échangeur ECS	m	-	-
$\lambda_{iso\ échangeur\ ECS}$	Conductivité thermique de l'isolant recouvrant l'échangeur	W/m.K	-	-
U_{ECS}	Coefficient de déperditions des tubes ECS dans un module	W/m.K	-	-
L_{ECS}	Longueur des tubes ECS dans un module	m	-	-
U_{mixte}	Coefficient de déperditions des tubes mixtes dans un module	W/m.K	-	-
L_{mixte}	Longueur des tubes mixtes dans un module	m	-	-
$U_{chauffage}$	Coefficient de déperditions des tubes chauffage dans un module	W/m.K	-	-

⁴ Rentrés par l'utilisateur

⁵ Les intervalles de l'interface donnent les limites les plus larges autorisées pour le calcul. Sauf mentions contraire, le test de compatibilité est systématique fait dans le code. Préciser l'exclusion des bornes ([...], [...], etc.).

$L_{chauffage}$	Longueur des tubes chauffage dans un module	m	-	-
R_{module}	Résistance thermique de l'isolant inclus dans la coque d'un module d'appartement	m ² .K/W	-	-
P_{auxfct}	Puissance des auxiliaires de génération en fonctionnement d'un module	W	-	-
$P_{auxarret}$	Puissance des auxiliaires de génération à l'arrêt d'un module	W	-	-
q_{resid}	Débit résiduel (ou minimal) dans le réseau intergroupe	m ³ /h	-	-
q_{nom}	Débit nominal du réseau intergroupes	m ³ /h	-	-
$\delta_{prod_ECS_CH}$	Indicateur de production simultanée d'ECS et de chauffage 0 : production alternée 1 : production simultanée	Réel	0 - 1	-

Sorties

Nom	Description	Unité	Intervalle	Def
$Mod_{pertes}(h)$	Coefficient de modulation des pertes du réseau	Réel	0 - 1	-
$\theta_{in_prim}(h)$	Température de départ du réseau intergroupes	°C	-	-
$\theta_{out_prim}(h)$	Température de retour du réseau intergroupes	°C	-	-
$Q_{totale}(h)$	Energie requise en entrée du réseau intergroupes	Wh	-	-
$Mod_{circ}(h)$	Coefficient de modulation des consommations des pompes du réseau intergroupes	Réel	-	-

Variables internes⁶

Nom	Description	Unité	Intervalle	Def
q^{mod}_{ECS}	Débit de puisage ECS par module	m ³ /h	-	0,72
q_{ECS}	Débit de puisage ECS pour tous les modules	m ³ /h	-	-
$P_{ECS}(h)$	Puissance appelée en ECS pour chaque pas de temps	W	-	-
$C_{p_{eau}}$	Capacité calorifique de l'eau	Wh/m ³ / K	-	1,16
ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau	kg/m ³	-	1000
θ_{2nd-e}	Température moyenne de puisage pour les appareils raccordés	°C	-	-

⁶ Variables utilisées uniquement dans le module courant.

$P_{ECS}^{mod}(h)$	Puissance ECS pour chaque pas de temps sur chaque module	W	-	-
$UA_{HXECS}^{mod}(h)$	Coefficient d'échange thermique pour chaque module d'appartement	W/K	-	-
$DTLM(h)$	Différence de température logarithmique sur le pas de temps	K	-	-
$\Delta T_e(h)$	Ecart de température entre la température d'entrée au primaire et la température de production ECS	K	-	-
$\Delta T_s(h)$	Ecart de température entre la température de sortie au primaire et la température d'EFS	K	-	-
$\theta_{in_prim_ECS}(h)$	Température primaire en entrée de l'échangeur à plaques ECS	°C	-	-
$\theta_{out_prim_ECS}(h)$	Température primaire en sortie de l'échangeur à plaques ECS	°C	-	-
$q_{primECS}(h)$	Débit primaire dans le réseau intergroupe en puisage ECS	m ³ /h	-	-
$Q_{primECS}(h)$	Energie à fournir pour la couverture des besoins ECS	Wh	-	-
$Temps_{ECS}(h)$	Temps de couverture des besoins ECS	h	-	-
$q_{primstatiqueECS}(h)$	Débit de maintien en température des échangeurs ECS raccordés au réseau intergroupes	m ³ /h	-	-
$\theta_{out_prim_statique_ECS}(h)$	Température primaire en sortie de l'échangeur à plaques ECS lors du maintien en température de l'échangeur	°C	-	-
$\theta_{in_prim_statique_ECS}(h)$	Température primaire en entrée de l'échangeur à plaques ECS lors du maintien en température de l'échangeur	°C	-	-
$Q_{primstatiqueECS}(h)$	Energie à fournir pour maintenir les échangeurs en température	Wh	-	-
$Temps_{statique}(h)$	Temps de maintien en température des échangeurs	h	-	-
$S_{éch}$	Surface extétrieure d'un échangeur	m ²	-	0,3
$R_{échECS}$	Résistance thermique de l'isolant protégeant l'échangeur	m ² .K/W	-	-
R_{si}	Résistance thermique superficielle	m ² .K/W	-	0,13
$H_{échECS}$	Coefficient de déperditions de l'échangeur ECS	W/K	-	-
H_{ECS}	Coefficient de déperditions des tubes ECS dans un module	W/K	-	-

H_{mixte}	Coefficient de déperditions des tubes mixtes dans un module	W/K	-	-
$H_{chauffage}$	Coefficient de déperditions des tubes chauffage dans un module	W/K	-	-
H_{module}	Coefficient de déperditions de l'enveloppe externe du module	W/K	-	-
S_{module}	Surface extérieure du module	m ²	-	0,8
$\Phi_{module}(h)$	Pertes thermiques totales du module sur un pas de temps horaire	Wh	-	-
$\Phi_{moduleECS}(h)$	Pertes thermiques du module en fonctionnement ECS	Wh	-	-
$\Phi_{modulestatique}(h)$	Pertes thermiques du module en mode statique	Wh	-	-
$\Phi_{moduleCH}(h)$	Pertes thermiques du module en fonctionnement chauffage	Wh	-	-
$\theta_{moyECS}(h)$	Température moyenne de l'ECS dans un module au cours d'un puisage	°C	-	-
$\theta_{amb}(h)$	Température du volume ambiant	°C	-	-
$\theta_{vc}(h)$	Température du volume chauffé	°C	-	20
$\theta_{hvc}(h)$	Température hors du volume chauffé	°C	-	-
$\theta_{moystatique}(h)$	Température moyenne de l'ECS lors du maintien en température de l'échangeur	°C	-	-
$q_{moyen}(h)$	Débit moyen circulant dans le réseau intergroupes sur un pas de temps	m ³ /h	-	-
$\theta_{outprim}(h)$	Température de retour moyenne sur un pas de temps d'une heure du réseau intergroupes	°C	-	-
$C_{auxgéné}(h)$	Consommations des auxiliaires de génération de tous les modules	Wh	-	-
$C_{auxgéné}^{mod}(h)$	Consommation des auxiliaires des génération d'un module	Wh	-	-
$\Phi_{recup}(h)$	Flux de chaleur transmis à l'ambiance par tous les modules	Wh	-	-
$\Phi_{recup}^{mod}(h)$	Flux de chaleur transmis à l'ambiance par un module	Wh	-	-
$q_{nom_ch}^{ds}$	Débit nominal de chauffage des groupes	m ³ /h	-	-
$q_{primchauffage}(h)$	Débit de chauffage requis au primaire de tous les modules en fonctionnement chauffage	m ³ /h	-	-
$Temps_{ECS}^{CH}(h)$	Temps de couverture simultané des besoins ECS et chauffage	h	-	-

Temps _{CH} (h)	Temps de couverture des besoins de chauffage	h	-	-
Temps _{ECS seule} (h)	Temps de couverture des besoins ECS seuls	h	-	-
Temps _{CH seul} (h)	Temps de couverture des besoins de chauffage seuls	h	-	-

Table 1 : Liste exhaustive des variables du modèle

2. DESCRIPTION DU MODULE

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 qu'un composant du groupe (chauffage ou ECS) est associé à un et un seul composant distribution intergroupes partageant sa fonction.

A chaque pas de temps, l'état du réseau intergroupe hérite des profils de gestion/régulation des différents réseaux de distribution groupe desservis :

- La température de départ est prise égale au maximum des températures requises au niveau des groupes desservis ou à la température de consigne minimale de la génération,
- Le débit total est égal à la somme de l'ensemble des débits effectifs circulant dans les réseaux du groupe desservis, plus le débit requis pour couvrir les besoins d'ECS et de chauffage au niveau des modules d'appartement,
- La température de retour est la moyenne pondérée par les débits effectifs des différentes températures de retour des réseaux du groupe desservis, y compris les débits permettant de couvrir les besoins d'ECS et de chauffage au niveau des modules d'appartement.

3. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE

Cette partie établit pour chaque module d'appartement Eau chaude sanitaire & Chauffage direct :

- Les pertes thermiques du module, c'est-à-dire l'énergie perdue dans le volume chauffé et le volume non chauffé,
- Les températures d'entrée et de sortie du module au primaire et secondaire,
- Les débits du module au primaire et au secondaire,
- Les consommations des auxiliaires,
- Les besoins en énergie thermique majorés des pertes du module.

1. Modules d'appartement eau chaude sanitaire & chauffage direct

Cette fiche algorithme décrit le modèle des modules d'appartement en fonctionnement Eau chaude sanitaire & chauffage direct. Ces modules sont reliés :

- En amont à un réseau de distribution primaire,
- En aval à un ou plusieurs systèmes d'émission internes au groupe, définis au niveau du groupe.

Les caractéristiques principales des modules d'appartement sont :

- Ses pertes (en W/K dont une partie seulement est récupérable par l'ambiance),
- Ses régimes de fonctionnement (températures et débits),
- Ses consommations d'auxiliaires.

2. Principe et définition

Un module d'appartement est obligatoirement relié :

- En aval, à une émission hydraulique d'un groupe,
- En amont à un réseau de distribution primaire.

3. Calculs des indicateurs du module d'appartement

Caractérisation

Tous les modules décrits dans cette fiche algorithmique couvrent les besoins en chauffage et en ECS des groupes auxquels ils sont raccordés :

$$id_{fonction} = 2 \quad (1)$$

L'échangeur ECS peut être maintenu en température ou non :

Si l'échangeur ECS est maintenu en température, alors

$$\delta_{M_ech_ECS_temp} = 1 \quad (2)$$

Sinon,

$$\delta_{M_ech_ECS_temp} = 0 \quad (3)$$

La production de chauffage et d'ECS peut être alternée ou simultanée :

Si la production de chauffage et d'ECS est simultanée, alors

$$\delta_{prod_ECS_CH} = 1 \quad (4)$$

Sinon

$$\delta_{prod_ECS_CH} = 0 \quad (5)$$

Fonctionnement

Le module d'appartement, en fonction de sa conception, peut fonctionner :

- Tout le temps (débit minimal de maintien en température de l'échangeur Eau chaude sanitaire),
- Uniquement en cas de soutirage ECS ou en cas de demande chauffage.

La différence par rapport au module de production ECS seul réside dans les algorithmes complémentaires dédiés au chauffage.

La priorité est toujours donnée à l'eau chaude sanitaire, mais deux types de régulations existent :

- ECS et chauffage en alternance (présence de vanne(s) à deux voies permettant de stopper le débit vers la partie chauffage lors de soutirage d'eau chaude sanitaire),
- ECS et chauffage en simultané (pas de vannes à deux voies tout ou rien sur la partie chauffage du module).

4. Couverture des besoins ECS

Le débit de puisage ECS est fixé par module forfaitairement à 12 l/min :

$$q_{ECS}^{mod} = 12 \text{ l/min} = 720 \text{ l/h} \quad (6)$$

$$q_{ECS} = q_{ECS}^{mod} \times Nb_{mod} \quad (7)$$

La somme des puissances des échangeurs à plaques de chaque module fournie à l'eau sanitaire est définie de la manière suivante :

$$P_{ECS}(h) = \rho_{eau} \times C_{p\ eau} \times q_{ECS} \times (\theta_{2nd-e} - \theta_{cw}(h)) \quad (8)$$

$$\theta_{2nd-e} = \frac{\sum_{ds} \theta_{2nd-e}^{ds-e} \times Q_{2nd-e}^{ds-e}}{\sum_{ds} Q_{2nd-e}^{ds-e}} \quad (9)$$

$$P_{ECS}^{mod}(h) = \frac{P_{ECS}(h)}{Nb_{mod}} \quad (10)$$

A partir des coefficients (a, b et c) fournis par l'utilisateur, le coefficient de transfert thermique UA_{HX_ECS} de l'échangeur à plaques Eau chaude sanitaire peut être calculé :

$$UA_{HX_ECS}^{mod}(h) = a \times (P_{ECS}^{mod}(h))^2 + b \times P_{ECS}^{mod}(h) + c \quad (11)$$

Remarque : les coefficients a, b et c sont définis par la méthode qui suit :

- à partir des points de mesure ou calcul suivants, réaliser une régression polynomiale d'ordre 2 pour obtenir des coefficients a, b, c :

Débit puisage ECS	Temp EFS	Temp puisage ECS	Temp depart primaire
l/h	°C	°C	°C
720	10	40	55
720	10	40	60
720	10	40	65
720	10	40	70
720	10	40	75
720	10	40	80
720	10	40	90
720	10	45	55
720	10	45	60
720	10	45	65
720	10	45	70
720	10	45	75
720	10	45	80
720	10	45	90
720	10	50	55
720	10	50	60
720	10	50	65
720	10	50	70
720	10	50	75
720	10	50	80
720	10	50	90
720	10	55	55
720	10	55	60
720	10	55	65
720	10	55	70
720	10	55	75
720	10	55	80
720	10	55	90

- dans le cas où les données sont certifiées, ne pas appliquer de pénalisation.
- dans le cas où les données sont justifiées (ex : données fournies par l'industriel sur la base d'un calcul réalisé par un logiciel spécifique), appliquer une pénalisation de 10%.
- dans le cas où il n'y a pas de valeurs fournies par l'industriel, prendre les coefficients par défaut suivants :

$$\begin{aligned}
 - a_{\text{def}} &= -9,5502 \text{ E } -07 && (1/W.K) \\
 - b_{\text{def}} &= 0,07943663 && (1/K) \\
 - c_{\text{def}} &= - 407,54714 && (W)
 \end{aligned}$$

La température de sortie de l'échangeur au primaire est définie à partir de la méthode de la Différence de Température Logarithmique Moyenne (DTLM) :

$$DTLM(h) = \frac{\Delta T_e(h) - \Delta T_s(h)}{\ln\left(\frac{\Delta T_e(h)}{\Delta T_s(h)}\right)} = \frac{P_{ECS}^{mod}(h)}{UA_{HX ECS}^{mod}(h)} \quad (12)$$

Avec :

$$\Delta T_e(h) = \theta_{in prim ECS}(h) - \theta_{2nd-e} \quad (13)$$

$$\Delta T_s(h) = \theta_{out prim ECS}(h) - \theta_{cw}(h) \quad (14)$$

Note : La température en entrée de l'échangeur à plaques est égale à la température en entrée de module : $\theta_{in prim ECS}(h) = \theta_{in prim nom}$.

Par calcul numérique, on fait converger $\Delta T_s(h)$ pour en déduire la température de sortie de l'échangeur Eau chaude sanitaire côté primaire ($\theta_{out\ prim\ ECS}(h)$).

La méthode de convergence est donnée ci-dessous et est issue de la méthode de résolution de Newton :

$$\text{Initialisation : } \Delta T_s = 50 \quad (15)$$

$$\text{Initialisation DTLM} = \frac{P_{ECS}^{mod}}{UA_{HX\ ECS}^{mod}} \quad (16)$$

$$Id_{fin} = \left| DTLM - \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} \right| \quad (17)$$

Tant que $Id_{fin} > 0.01$ alors

$$\Delta T_s = \Delta T_s - \frac{DTLM - \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)}}{\frac{-\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s} + \ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right) - 1}{\left(\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)\right)^2}} \quad (18)$$

$$Id_{fin} = \left| DTLM - \frac{\Delta T_e - \Delta T_s}{\ln\left(\frac{\Delta T_e}{\Delta T_s}\right)} \right| \quad (19)$$

Remarque : il faut arrêter le compteur après 500 itérations.

On en déduit :

$$\theta_{out\ prim\ ECS}(h) = \Delta T_s(h) + \theta_{cw}(h) \quad (20)$$

Le débit au primaire des échangeurs Eau chaude sanitaire de chaque module est ensuite calculé par la formule :

$$q_{prim\ ECS}(h) = \frac{P_{ECS}(h)}{\rho_{eau} \times C_{p\ eau} \times (\theta_{in\ prim\ ECS}(h) - \theta_{out\ prim\ ECS}(h))} \quad (21)$$

L'énergie à fournir au primaire de tous les modules est déduite des équations précédentes :

$$Q_{prim\ ECS}(h) = \rho_{eau} \times C_{p\ eau} \times q_{prim\ ECS}(h) \times (\theta_{in\ prim\ ECS}(h) - \theta_{out\ prim\ ECS}(h)) \times Temps_{ECS}(h) \quad (22)$$

$$\text{Avec } Temps_{ECS}(h) = \frac{\sum_{ds} Q_{2nd-e}^{ds-e}}{P_{ECS}(h)} \quad (23)$$

5. Couverture des besoins en chauffage

Le chauffage est réalisé de manière directe, ce qui veut dire que l'on récupère du groupe les données suivantes :

- Température de départ vers les émetteurs,
- Température de retour des émetteurs,
- Débit circulant dans les émetteurs.

L'algorithme ici présenté permet de calculer :

- La température de retour sur le réseau chauffage interne au module,
- Le débit de chauffage (côté primaire) requis par le module.

Plusieurs configurations de chauffage sont disponibles :

- Chauffage direct à débit constant dans les émetteurs et le module avec ou sans V2V tout ou rien,
- Chauffage direct à débit constant dans les émetteurs avec bypass et débit variable dans le module (avec ou sans vanne à deux voies tout ou rien présente en amont du bypass ou V3V avec circulateur),
- Chauffage direct à débit variable dans les émetteurs et le module avec V2V modulante.

La température de départ du réseau intergroupes est constante en mode chauffage et est définie par :

$$\theta_{in_prim_ch}(h) = \theta_{in_prim_nom} \quad (24)$$

Le débit du réseau intergroupes est défini par :

$$q_{prim_ch}(h) = \sum_{ds} q_{eff}^{ds}(h) \times \frac{(\theta_{dep}^{ds}(h) - \theta_{ret}^{ds}(h))}{(\theta_{in_prim_ch}(h) - \theta_{ret}^{ds}(h))} \quad (25)$$

La température du réseau intergroupes est définie par :

$$\theta_{out_prim_ch}(h) = \frac{\sum_{ds} q_{eff}^{ds}(h) \times \theta_{ret}^{ds}(h)}{\sum_{ds} q_{eff}^{ds}(h)} \quad (26)$$

Le besoin en chauffage à couvrir par le réseau intergroupes est :

$$Q_{prim_ch}(h) = \sum_{ds} Q_{sys_ch}^{ds}(h) \quad (27)$$

6. Couverture des pertes statiques

Dans le cas où l'échangeur ECS du module n'est pas maintenu en température, le débit d'irrigation de l'échangeur est nul et l'énergie fournie à l'échangeur est nul.

Si l'échangeur est maintenu en température, le débit de maintien en température et la température de retour de maintien en température sont des données à saisir.

Le débit de maintien en température de chaque module est à saisir par l'utilisateur et permet de déduire le débit de maintien en température de tous les modules :

$$q_{\text{prim statique ECS}}(h) = q_{\text{maintien échangeur ECS}} \times \delta_{M_ech_ECS_temp} \times Nb_{\text{mod}} \quad (28)$$

La température de retour est aussi à saisir par l'utilisateur :

$$\theta_{\text{out prim statique ECS}}(h) = \theta_{\text{out prim maintien échangeur ECS}} \times \delta_{M_ech_ECS_temp} \quad (29)$$

La température d'entrée dans l'échangeur est égale à la température d'entrée dans l'échangeur lors de soutirages d'eau chaude sanitaire :

$$\theta_{\text{in prim statique ECS}}(h) = \theta_{\text{in prim ECS}}(h) = \theta_{\text{in prim_nom}} \quad (30)$$

L'énergie à fournir au primaire de chaque module pour le maintien en température de l'échangeur Eau chaude sanitaire est déduite des équations précédentes :

$$Q_{\text{prim statique ECS}}(h) = \rho_{\text{eau}} \times C_{p \text{ eau}} \times q_{\text{prim statique ECS}}(h) \times (\theta_{\text{in prim statique ECS}}(h) - \theta_{\text{out prim statique ECS}}(h)) \times Nb_{\text{mod}} \times Temps_{\text{statique}}(h) \quad (31)$$

$$Temps_{\text{statique}}(h) = 1 - Temps_{\text{ECS}}(h) \quad (32)$$

7. Pertes thermiques

Pertes thermiques de l'échangeur ECS

La surface extérieure de l'échangeur est forfaitairement fixée à 0,3m² :

$$S_{\text{éch}} = 0,3 \text{ m}^2 \quad (33)$$

Au niveau des échanges thermiques entre l'air contenu dans le module et l'échangeur, il sera considéré l'influence de la convection ($h_c = 7,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) et, s'il y a lieu, de l'isolant enrobant l'échangeur.

La résistance thermique de l'isolant est définie par la formule suivante :

$$R_{\text{éch ECS}} = \frac{\acute{e}p_{\text{iso éch ECS}}}{\lambda_{\text{iso éch ECS}}} \quad (34)$$

La résistance thermique superficielle R_{si} équivalente (= de convection entre l'échangeur et l'air interne au module) vaut :

$$R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W} \quad (35)$$

Le coefficient de pertes thermiques (en W/K) entre l'échangeur et l'intérieur du module est calculé de la manière suivante :

$$H_{éch ECS} = \frac{S_{éch}}{(R_{si} + R_{éch ECS})} \quad (36)$$

Tubes primaires mixtes (communs au chauffage et à l'eau chaude sanitaire)

Ces longueurs sont les tubes situés à l'intérieur du module avant les dérivations vers l'échangeur Eau chaude sanitaire et vers le réseau de chauffage.

Ces longueurs sont caractérisées par leur longueur L_{mixte} et leur coefficient de déperdition thermique U_{mixte} (en W/(m.K)).

Ils influent sur les déperditions thermiques du module en fonction de leur niveau de température.

Leur coefficient de pertes thermiques vers l'intérieur du module (noté H_{mixte}) est défini par :

$$H_{mixte} = U_{mixte} \times L_{mixte} \quad (37)$$

Tubes primaires usage ECS

Ces longueurs sont les tubes situés à l'intérieur du module côté primaire de l'échangeur Eau chaude sanitaire. L'influence des tubes côté secondaire est négligée.

Ces longueurs sont caractérisées par leur longueur L_{ECS} et leur coefficient de déperdition thermique U_{ECS} (en W/(m.K)).

Ils influent sur les déperditions thermiques du module en fonction de leur niveau de température.

Leur coefficient de pertes thermiques vers l'intérieur du module (noté H_{ECS}) est défini par :

$$H_{ECS} = U_{ECS} \times L_{ECS} \quad (38)$$

Tubes primaires usage chauffage

Ces longueurs sont les tubes situés à l'intérieur du module après la dérivation vers le réseau de chauffage raccordé au module et affectés à l'usage de chauffage.

Ces longueurs sont caractérisées par leur longueur $L_{chauffage}$ et leur coefficient de déperdition thermique $U_{chauffage}$ (en W/(m.K)).

Ils influent sur les déperditions thermiques du module en fonction de leur niveau de température.

Leur coefficient de pertes thermiques vers l'intérieur du module (noté $H_{chauffage}$) est défini par :

$$H_{chauffage} = U_{chauffage} \times L_{chauffage} \quad (39)$$

Enveloppe du module d'appartement

Le module d'appartement est caractérisé par ses déperditions thermiques vers le volume chauffé ou non chauffé, elles-mêmes dépendantes de la présence ou non d'isolant sous le capot du module d'appartement.

Le coefficient de déperdition du module d'appartement (en W/K) est fonction de sa surface d'échange avec l'extérieur (S_{module}) et des caractéristiques de son isolant (R_{module}) : il est noté H_{module} .

$$H_{\text{module}} = \frac{S_{\text{module}}}{(2 \times R_{\text{si}} + R_{\text{module}})} \quad (40)$$

Avec :

$R_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. L'échange convectif avec l'air se fait à l'intérieur du module et à l'extérieur de celui-ci.

R_{module} : la résistance thermique de l'isolation du module à saisir par l'utilisateur, en $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$.

$S_{\text{module}} = 0,8 \text{ m}^2$ (valeur conventionnelle).

8. Temps de fonctionnement dans chaque mode

Mode ECS

Le temps de fonctionnement de l'échangeur d'un module équivalent est défini comme suit :

$$\text{Temps}_{ECS}(h) = \frac{\sum_{ds} Q_{w_2nd-eds-e}(h)}{P_{ECS}(h)} \quad (41)$$

Avec B_{ECS} le besoin d'ECS calculé par le moteur de calcul sur le groupe augmenté des pertes de distribution individuelle.

S'il n'y a pas de besoin ECS à couvrir, alors :

$$\text{Temps}_{ECS}(h) = 0 \quad (42)$$

Mode Chauffage et ECS

Cas de la production simultanée de chauffage et d'ECS : $\delta_{\text{prod_ECS_CH}} = 1$

Le temps de fonctionnement moyen des modules en chauffage est dépendant du coefficient $\text{Mod}_{\text{pertes}}(h)$ des groupes. Ainsi le temps de fonctionnement moyen en chauffage des modules est défini par :

$$\text{Temps}_{CH}(h) = \frac{\sum_{ds} \text{Mod}_{\text{pertes}}^{ds}(h)}{Nb_{\text{groupes}}} \quad (43)$$

S'il n'y a pas de besoin de chauffage à couvrir, alors :

$$\text{Temps}_{CH}(h) = 0 \quad (44)$$

On introduit donc une mesure de temps « mixte » pendant laquelle ont lieu des puisages d'ECS et une couverture des besoins de chauffage (production simultanée) :

$$\text{Temps}_{ECS\ CH}(h) = \min(\text{Temps}_{ECS}(h); \text{Temps}_{CH}(h)) \quad (45)$$

Cas de la production alternée de chauffage et d'ECS : $\delta_{prod_ECS_CH} = 0$

Le temps de fonctionnement moyen des modules en chauffage est dépendant du coefficient $Mod_{pertes}(h)$ des groupes. Ainsi le temps de fonctionnement moyen en chauffage des modules est défini par :

$$Temps_{CH}(h) = \frac{\sum_{ds} Mod_{pertes}^{ds}(h)}{Nb_{groupes}} - Temps_{ECS}(h) \quad (46)$$

S'il n'y a pas de besoin de chauffage à couvrir, alors :

$$Temps_{CH}(h) = 0 \quad (47)$$

On a aussi :

$$Temps_{ECS_CH}(h) = 0 \quad (48)$$

Mode statique

Afin de rendre compte au mieux du fonctionnement « séquentiel » du module d'appartement, il convient d'introduire trois autres mesures de temps.

Le temps de fonctionnement « mixte » ayant déjà été introduit, trois autres mesures de temps sont introduites :

- Temps de production d'ECS seule,
- Temps de production de chauffage seul,
- Temps « statique ».

$$Temps_{ECS\ seule}(h) = \max(0; Temps_{ECS}(h) - Temps_{ECS_CH}(h)) \quad (49)$$

$$Temps_{CH\ seul}(h) = \max(0; Temps_{CH}(h) - Temps_{ECS_CH}(h)) \quad (50)$$

$$Temps_{statique}(h) = \max(0; 1 - Temps_{ECS_CH}(h) - Temps_{ECS}(h) - Temps_{CH}(h)) \quad (51)$$

9. Pertes thermiques du module sur une heure

Les pertes thermiques du module sont définies par la somme des pertes thermiques en fonctionnement et en mode statique :

$$\phi_{module}(h) = \phi_{module\ CH\ seul}(h) + \phi_{module\ ECS\ seule}(h) + \phi_{module\ ECS\ CH}(h) + \phi_{module\ statique}(h) \quad (52)$$

Si le module est en volume chauffé :

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{vc}(h) \quad (53)$$

$$\theta_{vc}(h) = 20 \quad (54)$$

Si le module est hors volume chauffé :

$$\theta_{amb}(h) = \theta_{hvc}(h) \quad (55)$$

$$\theta_{hvc}(h) = b_{therm}(h) \times \theta_{ext}(h) + (1 - b_{therm}(h)) \times \theta_{vc}(h) \quad (56)$$

Pertes thermiques en fonctionnement chauffage et ECS

En fonctionnement chauffage et ECS l'échangeur ECS et les tubes ECS sont supposés à température moyenne :

$$\theta_{moy\ ECS}(h) = \frac{\theta_{in\ prim\ ECS}(h) + \theta_{out\ prim\ ECS}(h)}{2} \quad (57)$$

Les tubes chauffage sont supposés à température moyenne :

$$\theta_{moy\ CH}(h) = \frac{\theta_{in\ prim\ CH}(h) + \theta_{out\ prim\ CH}(h)}{2} \quad (58)$$

Les tubes mixtes sont à température moyenne :

$$\theta_{moy\ mixte\ ECS\ CH}(h) = MAX(\theta_{moy\ ECS}(h); \theta_{moy\ CH}(h)) \quad (59)$$

Les déperditions du module en fonctionnement chauffage et eau chaude sanitaire uniquement sont donc :

$$\phi_{module_ECS_CH} = Nb_{mod} \times Temps_{ECS_CH} \times \frac{(H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times (\theta_{moy_ECS} - \theta_{amb}) + H_{mixte} \times (\theta_{moy_mixte_ECS_CH} - \theta_{amb}) + H_{chauffage} \times (\theta_{moy_CH} - \theta_{amb})}{1 + \frac{1}{H_{mod}} \times ((H_{ech_ECS} + H_{ECS}) + H_{mixte})} \quad (60)$$

Pertes thermiques en fonctionnement Eau chaude sanitaire seule

Lors de puisages d'eau chaude sanitaire, l'échangeur Eau chaude sanitaire et les tubes sont supposés à la température moyenne de l'eau primaire circulant dans le module :

$$\theta_{moy\ ECS}(h) = \frac{\theta_{in\ prim\ ECS}(h) + \theta_{out\ prim\ ECS}(h)}{2} \quad (61)$$

Les tubes mixtes sont à température moyenne ECS :

$$\theta_{moy\ mixte\ ECS}(h) = \theta_{moy\ ECS}(h) \quad (62)$$

Les tubes chauffage sont supposés non maintenus en température.

Les déperditions du module lors de puisages d'eau chaude sanitaire uniquement sont donc :

$$\phi_{module_ECS} = Nb_{mod} \times Temps_{ECS_seule} \times \frac{(H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times (\theta_{moy_ECS} - \theta_{amb}) + H_{mixte} \times (\theta_{moy_mixte_ECS} - \theta_{amb})}{1 + \frac{1}{H_{mod}} \times ((H_{ech_ECS} + H_{ECS}) + H_{mixte})} \quad (63)$$

Pertes thermiques en fonctionnement chauffage seul

En fonctionnement chauffage seul, l'échangeur ECS et les tubes ECS sont supposés à température moyenne si l'échangeur est maintenu en température:

$$\theta_{moy\ statique\ ECS}(h) = \frac{\theta_{in\ statique\ prim\ ECS}(h) + \theta_{out\ statique\ prim\ ECS}(h)}{2} \quad (64)$$

Les tubes chauffage sont supposés à température moyenne :

$$\theta_{moy\ CH}(h) = \frac{\theta_{in\ prim\ CH}(h) + \theta_{out\ prim\ CH}(h)}{2} \quad (65)$$

Les tubes mixtes sont à température moyenne :

$$\theta_{moy\ mixte\ ECS\ CH}(h) = MAX(\theta_{moy\ ECS}(h); \theta_{moy\ CH}(h)) \quad (66)$$

Les déperditions du module en mode chauffage uniquement sont donc :

$$\phi_{module\ CH} = Nb_{mod} \times Temps_{CH\ seul} \times \frac{(H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times \delta_{M_ech_ECS_temp} \times (\theta_{moy\ statique\ ECS} - \theta_{amb}) + H_{mixte} \times (\theta_{moy\ mixte\ CH} - \theta_{amb}) + (H_{CH}) \times (\theta_{moy\ chauffage} - \theta_{amb})}{1 + \frac{1}{H_{mod}} \times ((H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times \delta_{M_ech_ECS_temp} + H_{mixte} + (H_{CH} + H_{ech_CH}))} \quad (67)$$

Pertes thermiques du module en mode statique

En mode statique, l'échangeur ECS et les tubes ECS sont supposés à température moyenne si l'échangeur est maintenu en température:

$$\theta_{moy\ statique\ ECS}(h) = \frac{\theta_{in\ prim\ statique\ ECS}(h) + \theta_{out\ prim\ statique\ ECS}(h)}{2} \quad (68)$$

Les tubes chauffage sont supposés non maintenus en température.

Les tubes mixtes sont à température moyenne ECS :

$$\theta_{moy\ statique\ mixte}(h) = \theta_{moy\ statique\ ECS}(h) \quad (69)$$

Les déperditions du module en fonctionnement statique sont donc :

Si l'échangeur est maintenu en température :

$$\phi_{module\ statique} = Nb_{mod} \times Temps_{statique} \times \frac{(H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times \delta_{M_ech_ECS_temp} \times (\theta_{moy\ statique\ ECS} - \theta_{amb}) + H_{mixte} \times (\theta_{moy\ mixte\ statique} - \theta_{amb})}{1 + \frac{1}{H_{mod}} \times ((H_{ech_ECS} + H_{ECS}) \times \delta_{M_ech_ECS_temp} + H_{mixte})} \quad (70)$$

Si l'échangeur n'est pas maintenu en température :

$$\phi_{module\ statique}(h) = 0 \quad (71)$$

10. Calcul des besoins en énergie sur une heure

Les besoins en énergie à couvrir par le module augmentés des pertes sont évalués par la formule suivante :

$$Q_{totale}(h) = Q_{prim\ ECS}(h) + Q_{prim\ CH}(h) + Q_{prim\ statique\ ECS}(h) + \phi_{module}(h) \quad (72)$$

Cette énergie est à fournir par le réseau primaire au groupe.

11. Débit d'irrigation moyen sur une heure

Le débit moyen entrant dans le module sur un pas de temps d'une heure est défini par la formule suivante :

$$q_{moyen}(h) = \max\left(\left(q_{prim\ ECS}(h) + q_{prim\ CH}(h)\right) \times Temps_{ECS\ CH} + \left(q_{prim\ ECS}\right) \times seule + \left(q_{prim\ statique\ ECS}(h) + q_{prim\ CH}(h)\right) \times Temps_{ECS\ seule} + \left(q_{prim\ statique\ ECS}(h) + q_{prim\ statique\ CH}(h)\right) \times Temps_{statique}; q_{resid}\right) \quad (73)$$

12. Calcul de la temperature de retour moyenne sur une heure

La température de retour moyenne sortant du module équivalent sur un pas de temps d'une heure est définie par la formule suivante :

$$\theta_{out_prim}^{mod_EQ} = \frac{q_{prim_ECS}^{mod_EQ} \times \theta_{out_prim_ECS}^{mod_EQ} + q_{prim_chauffage}^{mod_EQ} \times \theta_{out_prim_ch}^{mod_EQ} + q_{prim_statique_ECS}^{mod_EQ} \times \theta_{out_prim_statique_ECS}^{mod_EQ}}{q_{prim_ECS}^{mod_EQ} + q_{prim_chauffage}^{mod_EQ} + q_{prim_statique_ECS}^{mod_EQ} + q_{prim_statique_CH}^{mod_EQ}} \quad (74)$$

13. Auxiliaires de generation

Les circulateurs inclus dans les modules d'appartement seront à saisir dans le groupe.

Les auxiliaires de génération de type cartes électroniques seront à renseigner par l'utilisateur. On distinguera les consommations à l'arrêt des consommations en fonctionnement.

Les consommations de ces auxiliaires sont données sur chaque pas de temps par la formule suivante :

$$C_{aux_gén\acute{e}}(h) = Nb_{mod} \times C_{aux\ gén\acute{e}}^{mod} \quad (75)$$

Avec :

$$C_{aux\ gén\acute{e}}^{mod}(h) = P_{aux\ fct} \times (Temps_{ECS\ CH}(h) + Temps_{ECS\ seule}(h) + Temps_{CH\ seul}(h)) + P_{aux\ arrêt} \times Temps_{statique}(h) \quad (76)$$

14. Pertes transmises à l'ambiance

On suppose conventionnellement que si les modules sont hors volume chauffé alors aucune part d'énergie perdue par les modules n'est récupérable.

Si les modules sont en volume chauffé, alors on considère que 50% des pertes sont récupérables :

$$\phi_{recup}(h) = Nb_{mod} \times \phi_{recup}^{mod}(h) \quad (77)$$

Avec :

$$\phi_{recup}^{mod}(h) = 0,5 \times (\phi_{module}(h) + C_{aux}^{mod} g_{éné}(h)) \quad (78)$$

15. Mode de gestion du réseau et des circulateurs de distribution intergroupe mixte

L'algorithme correspondant est le suivant :

$$Mod_{pertes}(h) = 1 \quad (79)$$

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 $id_{circ} = 0$ alors,

$$Mod_{circ}(h) = 0 \quad (80)$$

Si $id_{circ} = 1$ alors,

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h) \quad (81)$$

Si $id_{circ} = 2$ alors,

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h) \times \left(\frac{q_{moyen}(h)}{q_{nom}} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (82)$$

Si $id_{circ} = 3$ alors,

$$Mod_{circ}(h) = Mod_{pertes}(h) \times \left(0,5 \times \frac{q_{moyen}(h)}{q_{nom}} + 0,5 \times \left(\frac{q_{moyen}(h)}{q_{nom}} \right)^2 \right)^{\frac{2}{3}} \quad (83)$$