

## ANNEXE

### Modalités de prise en compte des systèmes d'unités autonomes de toiture à rafraîchissement adiabatiques UATRA dans la réglementation thermique 2012 (NOR : TERL1909702A)

#### 1. Définition du système

A l'instar des Unité Autonome de Toiture classiques, les UATRA entrent dans la catégorie des centrales de traitement d'air (CTA), mais ont pour spécificité de ne couvrir les besoins que d'un unique local de grand volume (ou éventuellement plusieurs locaux adjacents considérés thermiquement homogène). A ce titre, la régulation des débits et températures de fonctionnement de l'UATRA repose directement sur la charge thermique de ce local unique, au lieu d'une régulation centrale complétée par des régulations terminales.

Ces unités se distinguent des UAT classiques par la présence d'une fonction de rafraîchissement adiabatique (ou rafraîchissement par évaporation), qui consiste, par un processus d'humidification de l'air, à prélever de la chaleur par évaporation.

On parle de rafraîchissement adiabatique direct lorsque c'est directement l'air insufflé dans les locaux qui fait l'objet d'une humidification. A contrario, le rafraîchissement adiabatique indirect correspond au cas où c'est l'air extrait dans les locaux qui est humidifié, et donc rafraîchi, pour ensuite passer dans un échangeur de chaleur avec l'air insufflé.

Cette fonction peut être associée ou non à un système de refroidissement classique complémentaire.

Le processus d'humidification peut être réalisé de manière diverse : atomisation, nébulisation, passage au travers d'un média humide...

Les UATRA sont en général déclinés sur de larges gammes de puissances calorifiques/frigorifiques fournies pouvant aller de 20 à 200 kW en fonctionnement actif et jusqu'à 30 kW de puissance de rafraîchissement adiabatique

Trois typologies du système peuvent être distinguées :

- Les UATRA SF comprennent un unique ventilateur et, comme leur nom l'indique, deux volets contrôlant le mélange d'air neuf et d'air recyclé. La régulation joue sur une variation du débit soufflé et du taux d'air neuf associés de 0 à 100%. En complément, les UATRA SF sont équipés d'un humidificateur fonctionnant en rafraîchissement adiabatique direct grâce à l'humidification de l'air soufflé en suivant une isotherme humide.

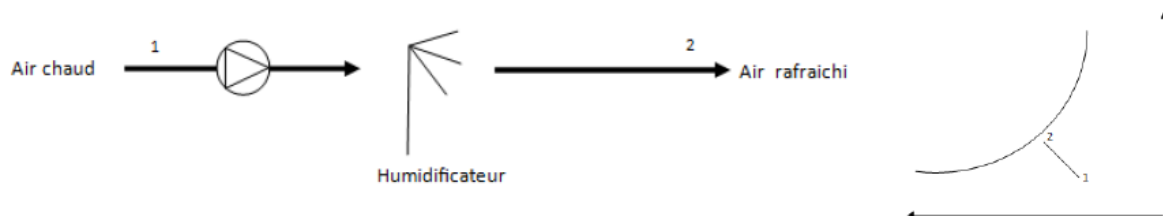
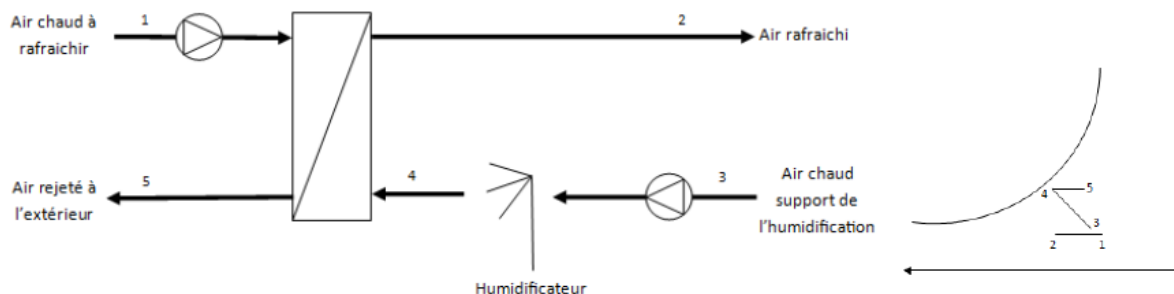


Figure 1: Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique direct

- Les UATRA 3 volets comprennent 2 ventilateurs et des volets permettant encore une fois de contrôler le mélange d'air extrait et d'air neuf, et d'ajuster le débit soufflé à la charge thermique du bâtiment en mode actif. Un récupérateur statique ou à roue est parfois prévu entre l'air neuf et l'air évacué (pouvant être bypassé selon les besoins en préchauffage de l'air neuf). Pour les systèmes UATRA déclinés des

UAT 3 volets et fonctionnant en rafraîchissement adiabatique indirect, la présence du récupérateur statique est obligatoire. Ces systèmes peuvent être munis soit d'un humidificateur sur la branche de soufflage fonctionnant en rafraîchissement adiabatique direct grâce à l'humidification de l'air soufflé en suivant une isotherme humide, soit d'un humidificateur sur la branche d'extraction permettant l'humidification de l'air suivant d'abord une isotherme humide (parcours de 3 à 4). Cet air est rafraîchi puis sa température augmente, sans augmentation d'humidité lors du passage à travers l'échangeur (parcours de 4 à 5).



**Figure 2: Schéma de principe du rafraîchissement adiabatique indirect**

Dans les configurations comprenant un récupérateur thermodynamique air extrait/air soufflé, on bascule sur un fonctionnement à 4 volets. Cette configuration permet de mélanger air extérieur et air extrait côté source pour conserver l'équilibre des débits de part et d'autres du générateur thermodynamique. Pour les UATRA, le principe lié à l'humidification de l'air en direct ou en indirect est inchangé à la configuration à 3 volets.

Le Titre V UATRA peut être utilisé avec les types de générateurs suivants :

- Générateur thermodynamique à absorption gaz ;
- Générateur d'air chaud à combustion ;
- Batterie(s) réversibles à eau et générateurs de chauffage/refroidissement vecteur eau associés.

Dans le cas précis de l'utilisation de la fonction de rafraîchissement passif permis par les systèmes UATRA de type indirect, l'utilisation complémentaire d'un générateur de froid en fonctionnement actif est possible.

Dans le cadre du Titre V, on considèrera que seules les unités directement connectées aux locaux à ventiler, chauffer et refroidir (rafraîchir dans le cas des UATRA) entrent dans la catégorie des UAT. La connexion entre l'UAT et le bâtiment ne devra pas représenter des conduits de distribution d'air hors volume chauffé/refroidi de plus de 4 m de longueur pour l'insufflation et 4 m de longueur pour l'extraction. Cette règle s'applique également aux UATRA.

Les UATRA assurent le chauffage sur la base d'une régulation fonction de l'occupation ou de la charge thermique du bâtiment et le rafraîchissement passif par deux modes possibles : rafraîchissement direct (UAT SF et DF) et indirect (uniquement pour les UAT DF). Pour les UATRA de type rafraîchissement indirect, le refroidissement actif est possible et il est utilisé en complément. La régulation du débit se fait en fonction de la température intérieure en dehors de la saison de chauffage sauf dans le cas d'un refroidissement actif complémentaire.

Tous ces systèmes incluent généralement un recyclage de l'air intérieur pour limiter les consommations.

Les UAT DF peuvent (et doivent dans le cas d'un UATRA fonctionnant en adiabatique indirect) intégrer un récupérateur statique air neuf/air rejeté.

Pour les UAT et les UATRA, en mode chauffage ou en refroidissement actif, plusieurs modes de régulation des débits sont envisageables :

- régulation à débits constants sur la base d'une programmation horaire uniquement (avec variation du taux d'air neuf).

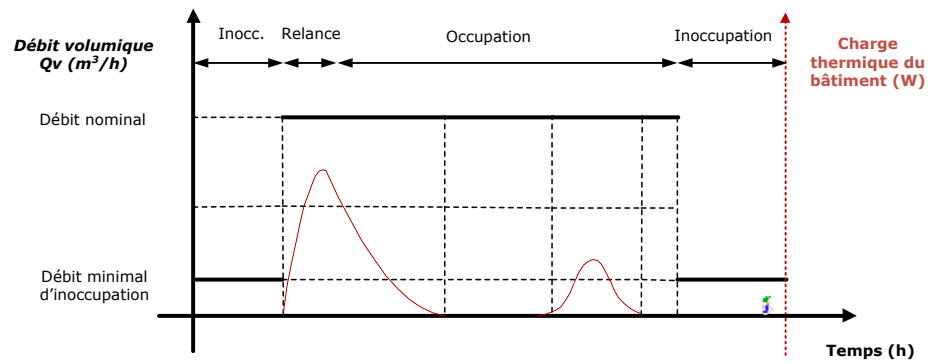


Figure 3: illustration de la régulation à débit constant non-fonction de la charge thermique

- régulation à plusieurs paliers de débits ou à débit variable sur la base de la charge thermique. Par simplification, dans la présente fiche, l'ensemble de ces régulations sont assimilées à une régulation à deux niveaux de débits (zone neutre/mode actif).

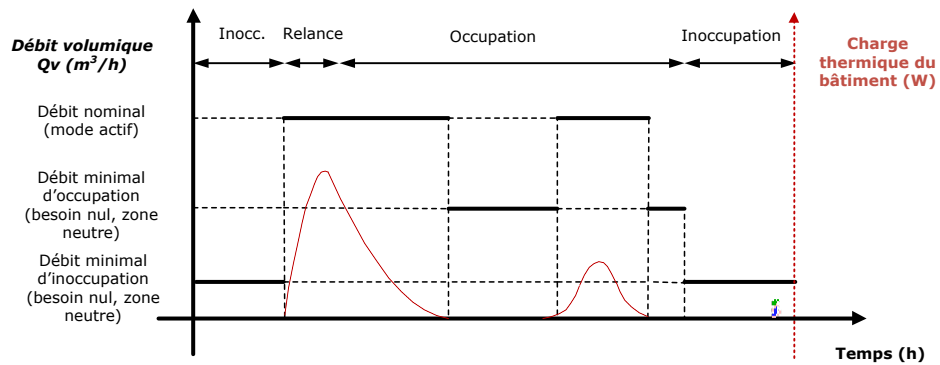


Figure 4: illustration de la régulation d'une UAT à deux débits en fonction de la charge thermique

Pour les UATRA, en mode rafraîchissement passif, la régulation du débit est basée sur un hystérésis fonction de la température intérieure et de plusieurs paramètres :

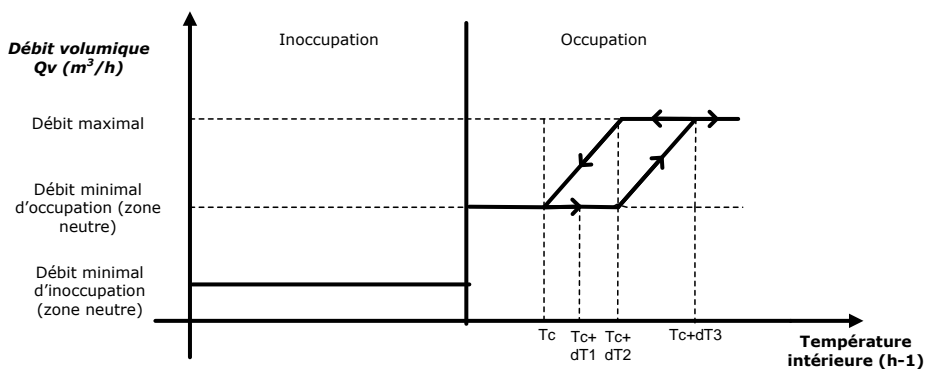


Figure 5: illustration de la régulation du débit pour le rafraîchissement passif en fonction de l'occupation et de la température intérieure au pas de temps précédent

## **2. Champs d'application**

Le Titre V UATRA est considéré applicable à tous les types de bâtiments ou locaux de grand volume, sauf ceux à usages d'habitation. Le local ou les locaux communiquant entre eux desservis par un ou plusieurs UATRA devront constituer un groupe unique au sens de la méthode Th-BCE. L'utilisation de ce Titre V est restreinte aux technologies de générateurs gaz.

Il concerne uniquement les Unités Autonomes de Toiture incluant une fonction de rafraîchissement adiabatique et un générateur de chauffage basée sur combustible gaz naturel.

### 3. Méthode de prise en compte

#### NOMENCLATURE

Le tableau ci-dessous donne la nomenclature des différentes variables de la modélisation.

Entrées du composant			
Nom	Description	Unité	
Environnement	$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure au pas de temps h	°C
	$\omega_{ext}(h)$	Humidité spécifique extérieure au pas de temps h	kg/kg s
	$T_{eau}(h)$	Température d'eau froide	°C
Environnement intérieur	$i_{svent}(h)$	Indicateurs d'occupation au sens de la ventilation (scénarios) : <i>1 : locaux occupés au sens de la ventilation</i>	-
	$Aut_{ch,pro}^{gr}(j)$	Indicateur de saison propre de chauffage. <i>1 : le groupe est en saison de chauffage.</i>	Ent.
	$Aut_{ch,eff}(j)$	Indicateur de saison de chauffage effective de la CTA. <i>1 : le groupe est en saison de chauffage.</i>	Bool
	$Aut_{fr,eff}(j)$	Indicateur de saison de refroidissement effective de la CTA. <i>1 : le groupe est en saison de refroidissement.</i>	Bool
Groupe	$\theta_{i,fin}^g(h-1)$	Température de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> à la fin du pas de temps précédent	°C
	$\omega_{i,fin}^g(h-1)$	Humidité absolue de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> à la fin du pas de temps précédent	kg/kg s
	$\rho_{i,fin}^g(h-1)$	Masse volumique de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> à la fin du pas de temps précédent	kg/m <sup>3</sup>
	$\theta_{i,moy}^g(h)$	Température de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> en moyenne sur le pas de temps h	°C
	$\omega_{i,moy}^g(h-1)$	Humidité absolue de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> en moyenne sur le pas de temps h	kg/kg s
	$\rho_{i,moy}^g(h)$	Masse volumique de l'air intérieur du groupe <i>gr</i> en moyenne sur le pas de temps h	kg/m <sup>3</sup>
	$i_{sbch}^g(h-1)$ $i_{sbr}^g(h-1)$	Indicateurs de besoins de chauffage et de refroidissement au pas de temps	-
Bouches-conduits	$i_{sreport\_ch}^g(h-1)$ $i_{sreport\_fr}^g(h-1)$	Indicateur spécifiant si une génération de chauffage/refroidissement reliée au groupe était en situation de report d'énergie au pas de temps h-1	-
	$q_{rep,dep,occ}^{g,s}$ $q_{sou,dep,occ}^{g,s}$	Débits volumiques spécifiques repris et soufflé au niveau des bouches <i>g,s</i> en occupation (en mode ventilation seule).	m <sup>3</sup> /h
	$q_{rep,fuites}^{g,s}$ $q_{sou,fuites}^{g,s}$	Débits volumiques de fuites repris et soufflé totaux pour le composant bouches-conduits <i>g,s</i>	m <sup>3</sup> /h
	$C_{dep}^{g,s}$	Coefficient de dépassement associé au composant bouches-conduits <i>g,s</i>	-

$q_{rep,spec}^{g,s}(h)$ $q_{sou,spec}^{g,s}(h)$	Débits volumiques spécifiques repris et soufflé en zone neutre, au niveau du composant bouches-conduits $g,s$ . (en mode ventilation seule).	$m^3/h$
$q_{repZN,cond}^{g,s}(h)$ $q_{souZN,cond}^{g,s}(h)$	Débits volumiques repris et soufflé en zone neutre, intégrant les infiltrations/fuites aérauliques au niveau du composant bouches-conduits $g,s$ (en mode ventilation seule).	$m^3/h$
$q_{repCH,cond}^{g,s}(h)$ $q_{souCH,cond}^{g,s}(h)$	Débits volumiques repris et soufflé en mode actif chauffage ou refroidissement, intégrant les infiltrations/fuites aérauliques au niveau du composant bouches-conduits $g,s$ (en mode ventilation seule).	$m^3/h$
$T_{Inc}^{g,s}(h)$	Température du local non-chauffé pour le calcul des pertes thermiques du composant du composant bouches-conduits $g,s$	$^{\circ}C$
$Q_{sys\_ch}^{g,s}(h)$ $Q_{sys\_fr}^{g,s}(h)$	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
$b_{therm}^{et}(h)$	Coefficient $b$ thermique de l'espace tampon pour la prise en compte des déperditions par les conduits aérauliques hors volume chauffé.	Réel

### 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	$+\infty$
	$R_{rep}^{g,s}$ $R_{soufflé}^{g,s}$	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	$+\infty$
	$Rat_{fuites,vc}^{g,s}$	Ratio des fuites en volume chauffé du composant bouches-conduits $g,s$	-	0	1
Ventilateurs	$P_{vent,sou\_CH}$ $P_{vent,rep\_CH}$	Puissances de ventilateurs correspondant au débit nominal en occupation	W	0	$+\infty$
	$P_{vent,sou\_ZN,occ}$ $P_{vent,rep\_ZN,occ}$	Puissances de ventilateurs correspondant au débit minimal (zone neutre) en occupation	W	0	$+\infty$
	$P_{vent,sou\_ZN,inocc}$ $P_{vent,rep\_ZN,inocc}$	Puissances de ventilateurs correspondant au débit minimal (zone neutre) en inoccupation	W	0	$+\infty$
	$\theta_{ext,bypass,hiver}$ $\theta_{ext,bypass,été}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle l'échangeur peut être bypassé en période de chauffage et le reste de l'année.	$^{\circ}C$	$-\infty$	$+\infty$
Bypass de l'échangeur	$\theta_{int,bypass,hiver}$ $\theta_{int,bypass,été}$	Température intérieure de consigne au-dessus de laquelle l'échangeur peut être bypassé en période de chauffage et le reste de l'année.	$^{\circ}C$	$-\infty$	$+\infty$
Régulation	$\theta_{sou,nom\_chaud}$	Températures nominales d'air soufflé en chauffage (au débit nominal et à puissance maximale de fonctionnement des générateurs).	$^{\circ}C$	25	60

$\theta_{sou,nom\_froid}$	Température nominale d'air soufflé en refroidissement (au débit nominal et à puissance maximale de fonctionnement des générateurs).	°C	5	20	
$\theta_{ENC}$ $\theta_{ENF}$	Plage de température de fonctionnement de UAT DF en tout air neuf.	°C	$-\infty$	$+\infty$	
$\theta_{batt}$	Température nominale de dimensionnement de la batterie de refroidissement (pour la prise en compte de la déshumidification).	°C	$-\infty$	$+\infty$	
$BP$	Facteur de bypass équivalent de la batterie ou évaporateur froid (pour le calcul de la déshumidification)	-	0	1	0,2
$\theta_{base}$ $\Delta\theta_1$ $\Delta\theta_2$	Températures de régulation en mode rafraîchissement adiabatique.	°C			22 1 5
$id\_et$	Indice de l'espace tampon non-solarisé dans lequel se situe les conduits de ventilation hors volume chauffé (pour la prise en compte des fuites et déperditions de ceux-ci).	Ent	0	$+\infty$	

## Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Con v.
Description de l'échangeur statique	$id_{niveau\_detail\_echangeur}$	Nature de la représentation de l'échangeur : <i>0 : représentation simplifiée</i> <i>1 : représentation détaillée</i>	-	0	1	
	$id_{statut\_echangeur}$	Statut de l'efficacité d'échangeur définie par l'utilisateur en mode ventilation seule. <i>0 : Valeur déclarée par le fabricant (par défaut),</i> <i>1 : Valeur justifiée,</i> <i>2 : Valeur certifiée</i>	Ent	0	2	
	$\epsilon_{t\_saisi}$	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	$+\infty$	
	$id_{type\_echangeur}$	Nature de l'échangeur: <i>1 : écoulements à contre-courant</i> <i>2 : écoulements à courants parallèles</i> <i>3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés</i>	-	1	3	
	$i_{bypass}$	Bypass de l'échangeur : <i>0 : absence,</i> <i>1 : présence.</i>	-	0	1	
	$P_{elec,ech}$	Puissance de l'échangeur (échangeurs à roue)	W	0	$+\infty$	
	$i_{Santigel}$	Sécurité antigèle de l'échangeur : <i>0 : absence d'antigel,</i> <i>1 : présence d'un antigèle.</i>	-	0	1	
$\theta_{s,ech,rep,LIM}$	Température limite basse de sortie coté rejet de l'échangeur (fonction antigèle)	°C	-10	10		

$id_{type\_UAT\ DF}$	Type de l'unité de toiture : 1 : 3 volets 2 : 4 volets	-	0	2	
$id_{regulation\_debit}$	Type de régulation du débit de l'unité de toiture : 0 : débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique, 1 : débit variable en fonction de la charge thermique.	-	0	1	
$Type\_regul\_AN$	Mode de fonctionnement en cycle économiseur : 0) régulation standard 1) régulation optimisée	-	0	1	-
$Type\_adiab$	Type de rafraîchissement adiabatique : 1) direct 2) indirect	-	1	2	-
$\eta_{nom}$	Rendement nominal d'humidification	-	0	1	0.8

## Sorties

	Nom	Description	Unité
Avant calcul des besoins (bilan aéraulique)	$q_{sou,spec}^{g,s}(h)$ $q_{rep,spec}^{g,s}(h)$	Débit volumique soufflé et repris en zone neutre, au niveau du composant bouches-conduits <i>g,s</i> .	m <sup>3</sup> /h
	$\theta_{air\_souffle}^{g,s}(h)$	Température de l'air soufflé pour le composant bouches-conduits <i>g,s</i> .	°C
	$\omega_{air\_souffle}^{g,s}(h)$	Humidité de l'air soufflé	kg/kgas
	$\rho_{air\_souffle}^{g,s}(h)$	Masse volumique de l'air soufflé	kg/m <sup>3</sup>
	$W_{vent}(h)$	Consommation électrique des ventilateurs du système	Wh
	$W_{aux\_v}^{g,s}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires de ventilation pour le composant bouches-conduits	Wh
	$Taux_{AN}(h)$	Taux d'air neuf du système au pas de temps h.	
	$W_{ech}(h)$	Consommations électriques liées à l'échangeur (roue).	Wh
Après calcul des besoins (modélisation des systèmes CVC)	$W_{chaud,ag}(h)$	Consommations électriques liées à la sécurité antigel	Wh
	$Q_{sys\_ch(rec.)}^{g,s}(h)$ $Q_{sys\_fr(rec.)}^{g,s}(h)$	Demande en énergie de chauffage / de refroidissement transmise par l'émission à son réseau de distribution du groupe au pas de temps h.	Wh
	$\theta_{air\_souffle(rec.)}^{g,s}(h)$	Température d'air soufflé en amont de l'ensemble bouche/conduit de soufflage <i>s</i> du groupe <i>gr</i> .	°C
	$q_{m,sou\_spec(rec.)}^{g,s}(h)$	Débit massique d'air soufflé de l'ensemble bouche/conduit de soufflage <i>s</i> du groupe <i>gr</i> .	kg/s
	$\theta_{air\_extrait(rec.)}(h)$	Température de l'air rejeté par la centrale, température utilisée pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	°C
	$q_{m\_air\_extrait(rec.)}(h)$	Débit d'air massique rejeté par la centrale, débit utilisé pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	kg/s



$W_{vent(rec)}(h)$	Consommations électriques des ventilateurs	Wh
$W_{aux\_v(rec)}^{g,s}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires de ventilation (ventilateur, échangeur) recalculée pour le composant bouches-conduits	Wh
$W_{ch,ag(rec)}(h)$	Consommations de la sécurité antigel.	Wh
$Taux_{AN(rec.)}(h)$	Taux d'air neuf du système au pas de temps h.	Réel
$W_{aux\_dist}^{g,s}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires de distribution (pompe)	Wh

### Variables internes

Nom	Description	Unité
$A_{cond,rep,ext}^{g,s}$ $A_{cond,souf,ext}^{g,s}$	Surface d'enveloppe des conduits de reprise et de soufflage hors volume chauffé du composant bouches-conduits g,s	m <sup>2</sup>
$H_{cond,rep,ext}^{g,s}$ $H_{cond,souf,ext}^{g,s}$	Conductivité thermique du conduit de reprise et de soufflage sur leur partie hors volume chauffé	W/K
$T_{inc}^{g,s}(h)$	Température de local non-chauffé pour le calcul des fuites et pertes des conduits aérauliques.	°C
$expH^{g,s}(h)$	Variable locale pour le calcul des pertes thermiques de conduits hors volume chauffé	-
$Q_{sys\_ch}(h)$ $Q_{sys\_fr}(h)$	Demande en énergie de chauffage et de refroidissement pour UAT DF au pas de temps h.	Wh
$Q_{sys\_lat\_fr}(h)$	Besoin de refroidissement supplémentaire lié à la déshumidification au pas de temps h.	Wh
$BP(h)$	Facteur de bypass équivalent de la batterie ou évaporateur froid (pour le calcul de la déshumidification)	-
$P_{zn}(h)$	Déperdition (ou apport) thermique par l'UAT 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 l'UAT aux bouches (basée sur la température et le débit nominal).	W
$T_{CH/FR}(h)$	Taux de charge équivalent de l'UAT.	W
$i_{rafinocc\_activé}(h)$	Statut effectif du rafraichissement nocturne : 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
$\theta_{extr2\_1}(h)$	Température de l'air repris après impact d'un humidificateur indirect	°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	°C
$\theta_{an}(h)$	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
$\theta_{ech,min}(h)$	Température d'air neuf minimale permettant d'éviter le gel dans l'échangeur	°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
$\theta_{souf,mel}(h)$	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
$\theta_{souf\_CH/FR}(h)$	Température de l'air soufflé à l'emplacement de l'étape de chauffage / refroidissement	°C
$\omega_{souf\_CH/FR}(h)$	Humidité spécifique de l'air soufflé au niveau de l'étape de chauffage /refroidissement	kg/kgas
$D\omega(h)$	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
$\theta_{air,souffle}(h)$	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
$\omega_{souf,hum}$	Humidité calculée après un humidificateur direct ou indirect	kg/kgas
$\omega_{souf,hum\_lim}$	Humidité limite que l'on ne peut pas dépasser avec un humidicateur de rendement $\eta_{nom}$	kg/kgas
$\Delta\omega_{souf,hum}$	Humidification de l'air par l'humidificateur direct ou indirect	kg/kgas

Variables internes de débits	$\Delta T_{souf, hum}$	Rafraichissement de l'air par humidification	°C
	$P_{vent, rep}(h)$	Puissances des ventilateurs de reprise et de soufflage au pas de temps h	W
	$P_{vent, sou}(h)$		
	$R_{sou}(h)$	Rapports des écarts au débit de zone neutre pour l'air soufflé / l'air repris (entre 0 et 1)	Réel
	$R_{rep}(h)$		
	$q_{m, rep, cond}(h)$	Débits massiques repris et soufflé en intégrant les fuites aérauliques, recalculés au pas de temps h.	kg/s
	$q_{m, sou, cond}(h)$		
	$q_{m, rep, spec^{g,s}}(h)$	Débit massique soufflé en intégrant les fuites aérauliques en volume chauffé pour le composant bouches-conduits g,s	kg/s
	$q_{m, sou, spec^{g,s}}(h)$		
	$q_{m, rep, cond^{g,s}}(h)$	Débit massique soufflé en intégrant les fuites aérauliques pour le composant bouches-conduits g,s.	kg/s
$q_{m, sou, cond^{g,s}}(h)$			
$q_{m, air\ neuf}(h)$	Débit massique d'air neuf soufflé	kg/s	
$q_{m, eau}^{pompe}(h)$	Débit massique de la pompe servant à l'humidification		
$\delta_{bypass}(h)$	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.	-
	$C_{air\_repris}(h)$	Débit capacitif de l'air repris et de l'air neuf (pour la caractérisation des performances de l'échangeur)	W/K
	$C_{air\_neuf}(h)$		
	$C(h)$	Rapport du débit capacitif minimal au débit maximal des deux-fluides de l'échangeur	-
	$NUT(h)$	Nombre d'unités de transfert de l'échangeur	-
	$C_{air\_rejeté}(h)$	Débit capacitif de l'air rejeté	W/K

### 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	Chaleur de vaporisation de l'eau	J/kg	2501000

$\rho_{ref}$	Masse volumique de l'air de référence	kg/m <sup>3</sup>	1,2
$\theta_{ref}$	Température d'air correspondant à la masse volumique de l'air de référence	°C	20
$PeI$	Rendement des ventilateurs	-	0,8
$\varepsilon_{utile\ max}$	Efficacité maximale de l'échangeur en l'absence de valeurs certifiées ou justifiées	-	0,5

**Tableau 1 : Nomenclature du modèle**

## 1.1 DESCRIPTION MATHÉMATIQUE

### 1.1.1 PRINCIPE

#### 1.1.1.1 Décomposition en sous-composants

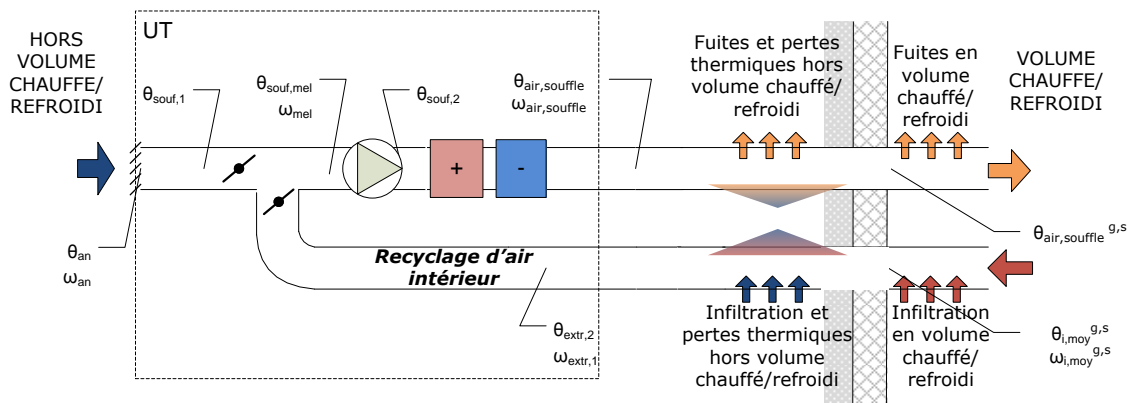


Figure 2: Représentation équivalente d'une UAT SF

Une unité de toiture simple flux (2 volets) contient les sous-composants suivants :

- boîte de mélange avec l'air recyclé (à 2 volets),
- ventilateur de soufflage,
- systèmes de chauffage / de refroidissement.

L'UAT SF doit être associée à un ou plusieurs composants bouches-conduits de soufflage et un composant bouches-conduits de reprise unique (modélisation du réseau de recyclage). Dans ce dernier, les paramètres de débits seront définis nuls et l'algorithme recalculera à chaque pas de temps le débit de recyclage nécessaire pour atteindre les valeurs de débits d'air soufflées prévues par le paramétrage.

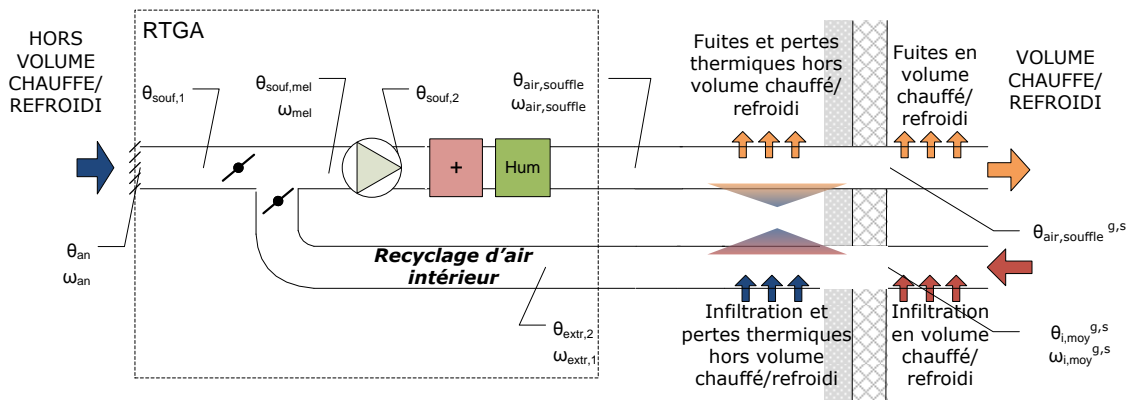


Figure 3: Représentation équivalente d'un UATRA SF direct

Une unité autonome de toiture simple flux direct décliné de l'UAT SF (2 volets) contient les sous-composants suivants :

- boîte de mélange avec l'air recyclé (à 2 volets) utilisée uniquement en mode chauffage,
- ventilateur de soufflage,
- système de chauffage,
- humidificateur sur air soufflé.

L'UAT SF doit être associée à un ou plusieurs composants bouches-conduits de soufflage et un composant bouches-conduits de reprise unique (modélisation du réseau de recyclage). Dans ce dernier,

les paramètres de débits seront définis nuls et l'algorithme recalculera à chaque pas de temps le débit de recyclage nécessaire pour atteindre les valeurs de débits d'air soufflé prévues par le paramétrage.

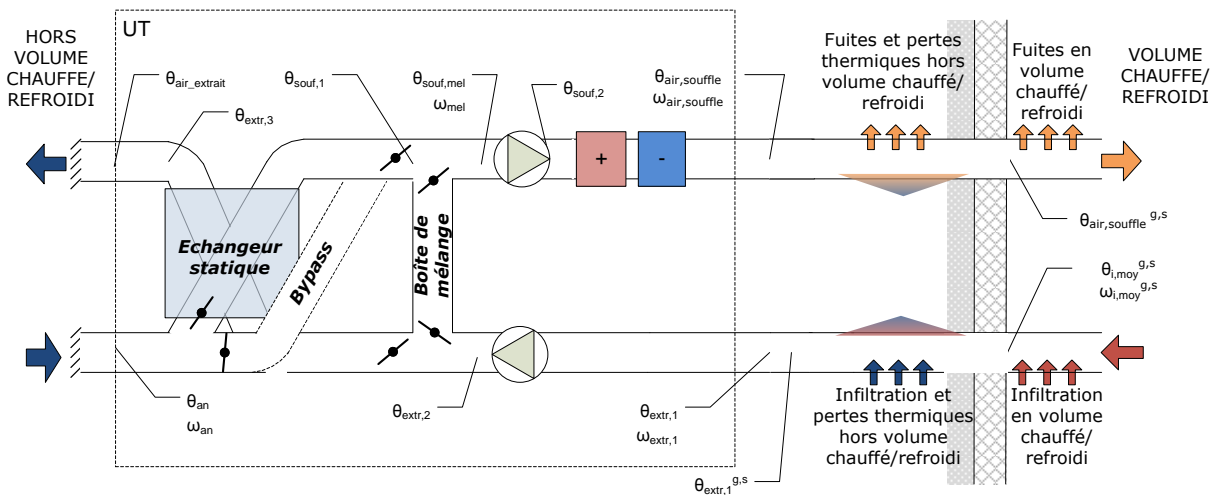


Figure 4: Représentation équivalente d'une UAT 3 volets

Une unité de toiture double flux (3 ou 4 volets) peut contenir les sous-composants suivants :

- batterie antigel,
- récupérateur statique ou à roue air neuf/air rejeté, avec fonction bypass ou non,
- boîte de mélange à 3 volets,
- ventilateurs,
- systèmes de chauffage/refroidissement,
- boîte de mélange air rejeté/air neuf (4<sup>ème</sup> volet).

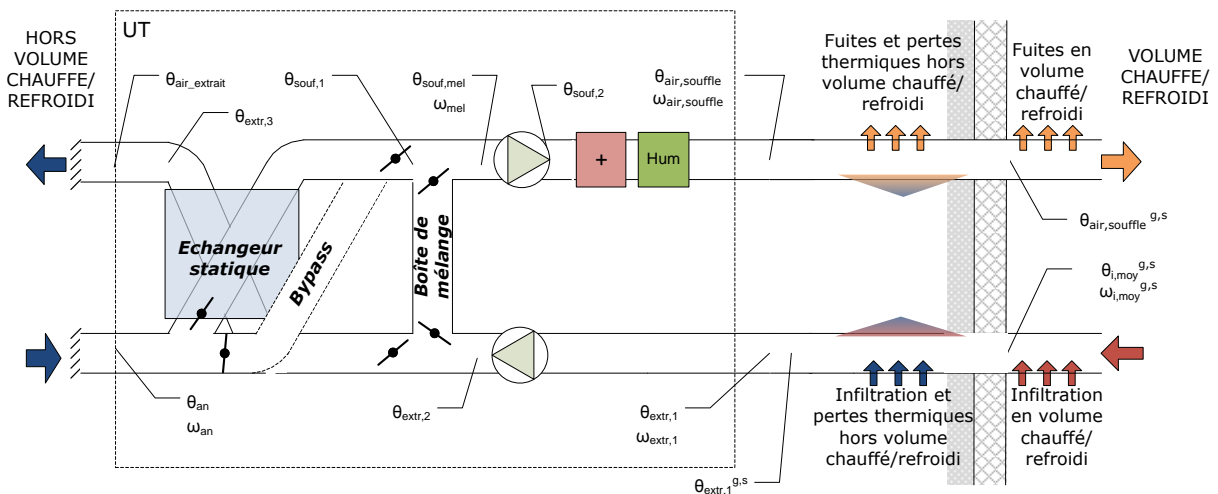


Figure 5: Représentation équivalente d'un UATRA DF direct

Une unité de toiture adiabatique double flux direct décliné de l'UAT DF (3 ou 4 volets) contient les sous-composants suivants :

- batterie antigel,
- récupérateur statique ou à roue air neuf/air rejeté, avec fonction bypass ou non,
- boîte de mélange à 3 volets utilisée uniquement en mode chauffage,
- ventilateurs,

- système de chauffage,
- humidificateur sur air soufflé,
- boîte de mélange air rejeté/air neuf utilisée uniquement en mode chauffage.

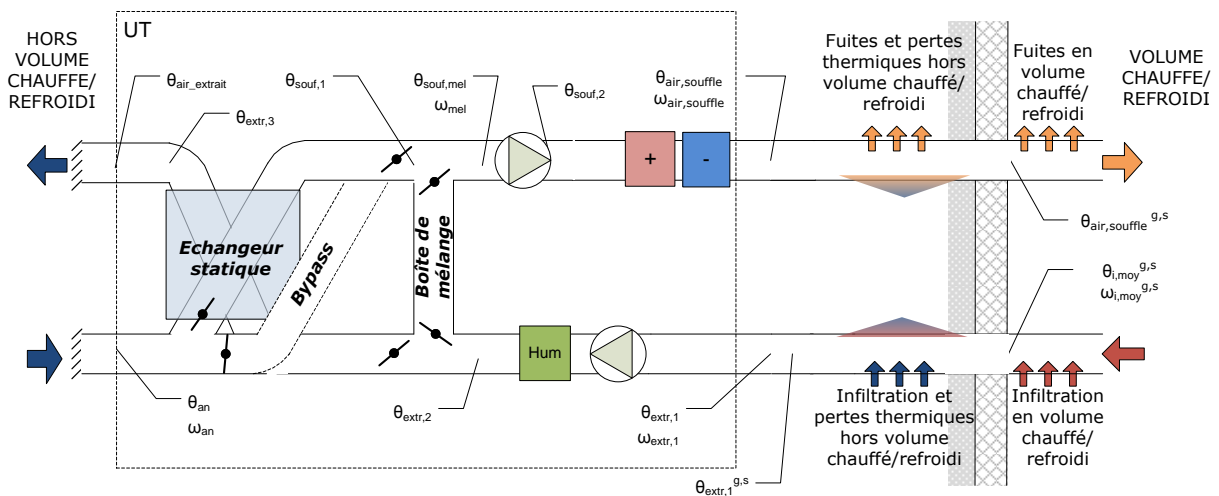


Figure 6: Représentation équivalente d'un UATRA DF indirect

Une unité de toiture adiabatique double flux indirecte décliné de l'UAT DF (3 ou 4 volets) contient les sous-composants suivants :

- batterie antigel,
- récupérateur statique ou à roue air neuf/air rejeté, avec fonction bypass ou non,
- boîte de mélange à 3 volets utilisée uniquement en mode chauffage,
- ventilateurs,
- système de chauffage,
- système de refroidissement
- humidificateur sur air repris,
- boîte de mélange air rejeté/air neuf utilisée uniquement en mode chauffage.

Dans le cadre du champ d'application du Titre V, les réseaux de distribution d'air hors volume chauffé sont considérés minimalistes ou inexistantes : on les néglige donc. En volume chauffé, les gaines de transferts d'air circulant uniquement dans le local à chauffer/refroidir, leur impact sur la performance énergétique du système est également considéré négligeable.

L'association avec un puits climatique ou une espace tampon solarisé est considérée impossible.

### 1.1.1.2 Activation de la fonction rafraîchissement adiabatique

L'autorisation d'utiliser la fonction de rafraîchissement,  $Aut_{adiab}$ , dépend de la saison en cours (période de chauffage ou non) et de la valeur de température intérieure au pas de temps précédent :

$$\text{Si } \theta_{i,fin}^s (h-1) \leq \theta_{i,base} \text{ ou } Aut_{ch} = 1$$

$$Aut_{adiab} = 0$$

Sinon,

(1)

$$Aut_{adiab} = 1$$

Une valeur minimale de  $\theta_{i\_base}$  est fixée conventionnellement à 22°C.

### 1.1.1.3 Gestion des débits

#### 1.1.1.3.1 Pour les UAT avec $Is_{adiab} = 0$

La gestion des débits pour les UAT en fonctionnement actif suit le principe suivant.

Pour la modélisation, la régulation à plusieurs débits ou à débit variable est assimilée à une régulation à deux débits (nominal/minimal) fonction de la charge thermique.

La gestion du basculement entre les deux débits est basée sur une programmation horaire et une régulation automatique en fonction de la température intérieure ou de la charge thermique du bâtiment. A cela s'ajoute une fonction de « free cooling » consistant à maintenir un débit nominal tout air neuf lorsque cela présente un intérêt thermique.

En occupation au sens de la ventilation ( $i_{vent}(h) = 1$ ) :

- 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 zone neutre en occupation et le taux d'air neuf est 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 ( $i_{report\_ch}^g(h-1) = 1$  ou  $i_{report\_fr}^g(h-1) = 1$ ), le débit volumique bascule au débit nominal en occupation (indice CH), le débit d'air neuf restant égal au débit de zone neutre en occupation.

En inoccupation au sens de la ventilation ( $i_{vent}(h) = 0$ ) :

- 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 (minimal) et le taux d'air neuf est de 100%. Lors de la période de rafraîchissement nocturne (définie par l'utilisateur, mais tombant forcément au cours des horaires d'inoccupation), le débit peut être porté à un débit nominal de rafraîchissement nocturne (indice raf\_noc) 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.
- 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 ( $i_{report\_ch}^g(h-1) = 1$  ou  $i_{report\_fr}^g(h-1) = 1$ ), le débit volumique bascule au débit nominal d'inoccupation (indice CH) pour le pas de temps concerné, le débit d'air neuf restant égal au débit de zone neutre en inoccupation.

#### 1.1.1.3.2 Pour les UATRA avec $Is_{adiab} = 1$

La gestion des débits pour les UAT utilisant une technologie de rafraîchissement adiabatique suit le principe suivant.

Dès lors que  $Aut_{adiab} = 0$ , la gestion/régulation des débits est la même que lorsque  $Is_{adiab} = 0$ .

En revanche, si  $Aut_{adiab} = 1$ , on utilise la régulation prévue pour le fonctionnement du système en mode rafraîchissement adiabatique.

En inoccupation au sens de la ventilation ( $i_{vent}(h) = 0$ ) :

- Le débit volumique est pris égal au débit de zone neutre en inoccupation (minimal) et le taux d'air neuf est de 100%. Lors de la période de rafraîchissement nocturne (définie par l'utilisateur, mais tombant forcément au cours des horaires d'inoccupation), le débit peut être porté à un débit nominal de rafraîchissement nocturne (indice raf\_noc) 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.

En occupation au sens de la ventilation ( $i_{vent}(h) = 1$ ) :

- Le débit volumique varie linéairement avec la température intérieure au pas de temps h-1 entre le débit de zone neutre en occupation (débit minimal) et le débit nominal en occupation (indice CH et débit maximal).

## **1.1.2 PRÉPROCESSEUR**

### **1.1.2.1 Test de cohérence : UAT**

Le composant UAT ne peut desservir qu'un groupe unique d'indice gr. Si la liste des groupes connectés via des bouches-conduits de soufflage contient plus d'éléments, le message d'erreur suivant est déclenché :

*« Un système de ventilation de type unité de toiture ne peut desservir qu'un groupe uniquement. »*

Le composant UAT SF doit être connecté à un composant bouches-conduits de reprise unique d'indice g,s. Si la liste des bouches-conduits de reprise contient plus d'éléments, le message d'erreur suivant est déclenché :

*« Un système de ventilation de type unité de toiture simple flux ne peut être associé qu'à un composant bouches-conduits de reprise unique, correspond à la gaine de recyclage d'air intérieur. »*

### **1.1.2.2 Test de cohérence spécifique aux UATRA**

Il est nécessaire de gérer les incompatibilités entre les systèmes de rafraîchissement passif et actif.

En effet, dès lors que le paramètre  $Is_{adiab}$  est égal à 1, le raccordement d'un émetteur ou d'un générateur de refroidissement ne doit pas être permis sauf lorsque  $Type_{adiab}$  est égal à 2. Le message d'erreur doit être affiché :

*« Un émetteur de refroidissement ne peut être relié qu'à un système de ventilation de type unité autonome de toiture sans rafraîchissement adiabatique ou en fonctionnement adiabatique indirect. »*

### **1.1.2.3 Débits de fuite et pertes thermiques des conduits aérauliques**

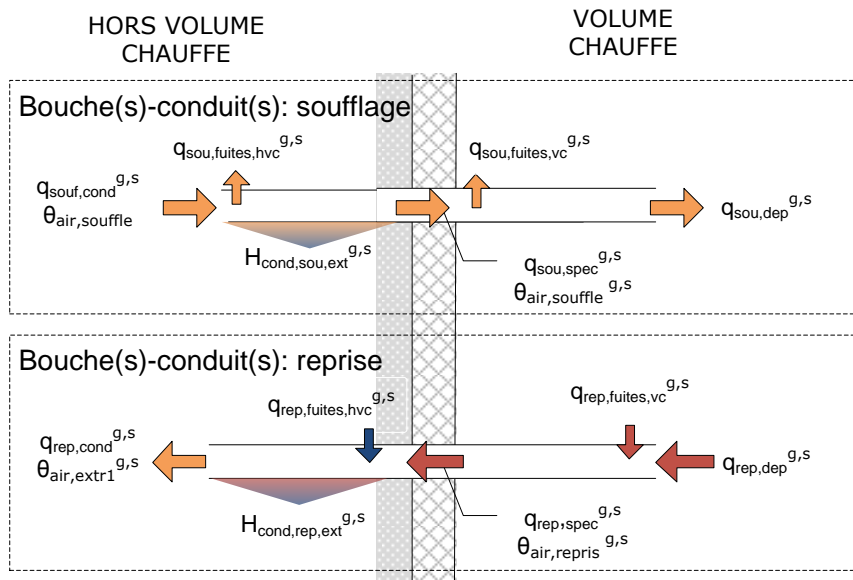


Figure 7: rappel des notations de débits et températures au niveau des bouches-conduits

En début de simulation, les fuites aérauliques et coefficients de pertes thermiques sont annulés :

$$q_{sou,fuites,vc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (2)$$

$$q_{rep,fuites,vc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (2)$$

$$q_{rep,fuites,hvc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3)$$

$$q_{sou,fuites,hvc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (3)$$

$$A_{cond,sou,ext}^{g,s} = 0 \text{ (m}^2\text{)} \quad (4)$$

$$A_{cond,rep,ext}^{g,s} = 0 \text{ (m}^2\text{)} \quad (4)$$

$$H_{cond,souf,ext}^{g,s} = 0 \text{ (W/K)} \quad (5)$$

$$H_{cond,rep,ext}^{g,s} = 0 \text{ (W/K)} \quad (5)$$

#### 1.1.2.4 Récupérateur (cas UAT DF uniquement)

L'efficacité du récupérateur (échangeur statique ou à roue) fait l'objet d'un prétraitement selon le statut de la donnée. L'efficacité  $\varepsilon_i$  définie en paramètre doit être mesurée pour des débits correspondant à la zone neutre en occupation.

- **Statut certifié ( $id_{statut\_echangeur\_ch} / id_{statut\_echangeur\_fr} = 2$ ):** 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,

- **Statut justifié ( $id_{statut\_echangeur\_ch} / id_{statut\_echangeur\_fr} = 1$ ):**  $\varepsilon_{modeCH\_saisi} / \varepsilon_{modeFR\_saisi}$  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,

$$\varepsilon_i = 0,9 \times \varepsilon_i \quad (6)$$

- **Statut déclaré ( $id_{statut\_echangeur\_ch} = 0 / id_{statut\_echangeur\_fr} = 0$ ):** la valeur est simplement déclarée par

le fabricant :

$$\varepsilon_t = \text{MIN}(0,8 \times \varepsilon_t; \varepsilon_{\text{utile\_max}}) \quad (7)$$

### 1.1.3 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 de l'UAT 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 pas de la température et l'humidité moyennes du pas de temps actuel h, ce qui nécessite de faire appel aux températures et humidité finales du pas de temps précédent h-1 pour mener le calcul. Dans le cas où  $ls\_adiab=1$ , la première phase de modélisation varie au niveau du calcul du taux d'air neuf, des débits soufflés et de la température de soufflage.
- La seconde phase de modélisation de l'UAT permet de caractériser le fonctionnement effectif de l'UAT pas de temps h. On recalcule les débits, températures, humidités de l'air, consommations électriques des différentes fonctions et besoins de chauffage et de refroidissement (uniquement si  $ls\_adiab=0$ ) en prenant en compte la charge thermique du groupe.

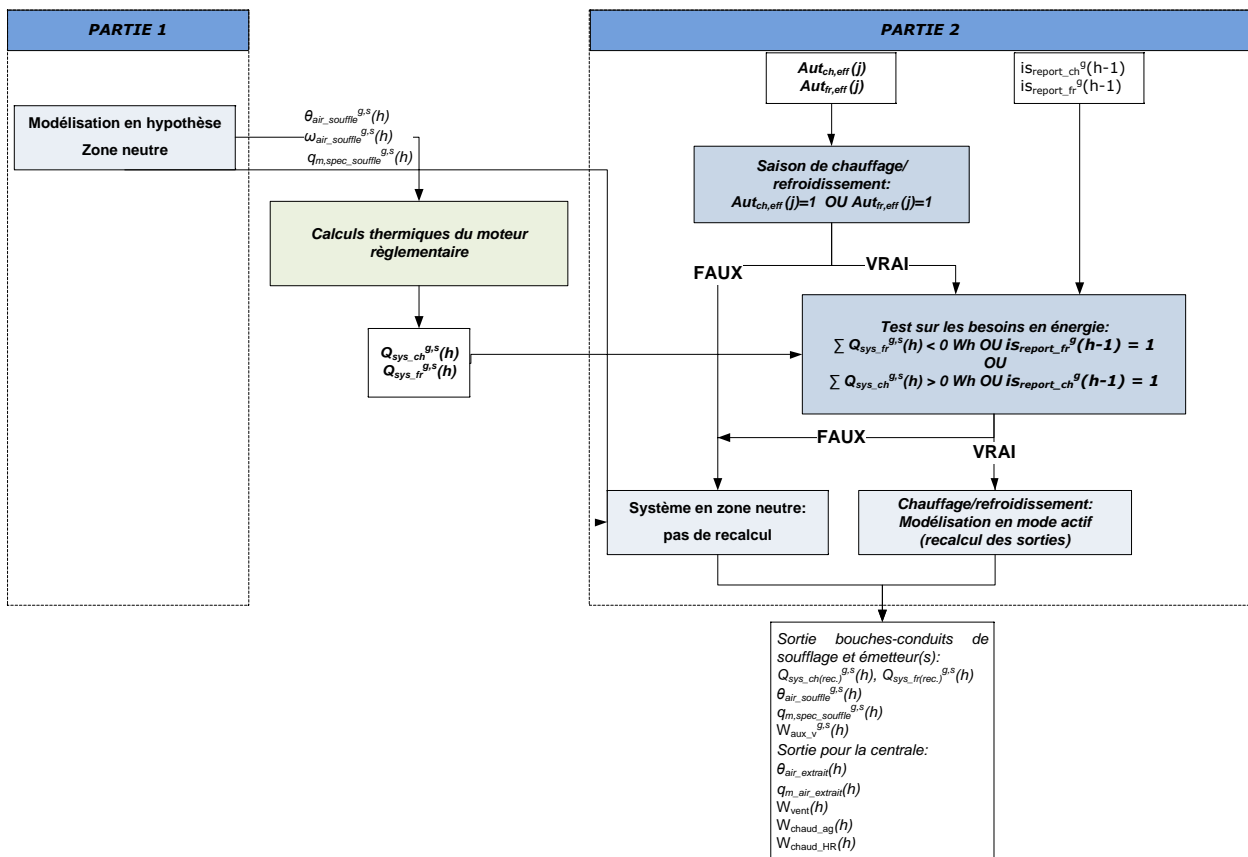


Figure 8: organisation générale du calcul

Les modèles algorithmiques pour les modes zone neutre et actif sont décrits ci-dessous.

### 1.1.4 MODÉLISATION DE L'UAT EN ZONE NEUTRE (CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DÉSACTIVÉS)

La modélisation de l'UAT en zone neutre intervient à tous les pas de temps, en phase 1 du calcul.

On modélise l'UAT avec comme hypothèse que les fonctions de chauffage et de refroidissement sont désactivées. Le calcul est inspiré de celui d'un système de CTA DAC sans recyclage d'air (tout air neuf) sans préchauffage ni prérefroidissement, ni humidification de l'air soufflé.

### **Air neuf et air repris**

La masse volumique de l'air intérieur est la suivante :

$$\rho_{i,fin}^g(h-1) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{i,fin}^g(h-1))} \quad (8)$$

Pour une unité de toiture, l'association avec un puits climatiques ou une espace tampon solarisé est considérée impossible.

La température et la masse volumique d'air neuf sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \theta_{an}(h) &= \theta_{ext}(h) \\ \rho_{an}(h) &= \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{an}(h))} \end{aligned} \quad (9)$$

### **Prise en compte du mode rafraichissement (ou « free cooling ») nocturne**

La gestion/régulation du rafraichissement nocturne par surdébit de ventilation est traitée à la façon des autres systèmes de ventilation de la méthode Th-BCE, selon le chapitre « 8.12 C\_Ven\_Fonctions de rafraichissement nocturne des systèmes de ventilation ». Le calcul de l'indicateur de déclenchement du rafraichissement nocturne au pas de temps horaire  $i_{rafinocc\_activé}(h)$  est reproduit à l'identique.

### **Débits massiques soufflés si $Is_{adiab} = 0$**

En mode rafraichissement nocturne ( $i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou\_raf,noc\_cond}^{g,s} \quad (10)$$

Sinon, selon le mode de régulation des débits, les débits volumiques utilisés diffèrent :

### **Cas $i_{regulation\_debit} = 0$ ) Débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique :**

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. L'approche est similaire à celle d'une centrale de traitement d'air à débit d'air constant.

En occupation au sens de la ventilation ( $i_{svent}(h) = 1$ ) :

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (11)$$

En inoccupation au sens de la ventilation ( $i_{svent}(h) = 0$ ) :

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (12)$$

### **Cas $i_{regulation\_debit} = 1$ ) Débit variable en fonction de la charge thermique :**

En mode zone neutre, le débit volumique est systématiquement le débit d'indice « ZN » correspondant au minimum hygiénique tout air neuf. L'approche est similaire à celle d'une centrale de traitement d'air à débit d'air variable.

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (13)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) = MAX \left( 0; q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou,fiutes,hvc}^{g,s} \right) \quad (14)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \quad (15)$$

$$q_{m,sou,spec}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) \quad (16)$$

### **Débits massiques soufflés si $Is\_adiab = 1$**

Dès lors que  $Aut\_adiab = 0$ , le calcul des débits massiques soufflés est la même que lorsque  $Is\_adiab = 0$ .

En revanche, si  $Aut\_adiab = 1$ , on utilise les algorithmes suivants pour modéliser le fonctionnement du système en mode rafraîchissement adiabatique :

En mode rafraîchissement nocturne ( $i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou\_raf,noc\_cond}^{g,s} \quad (17)$$

En inoccupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 0$ ) :

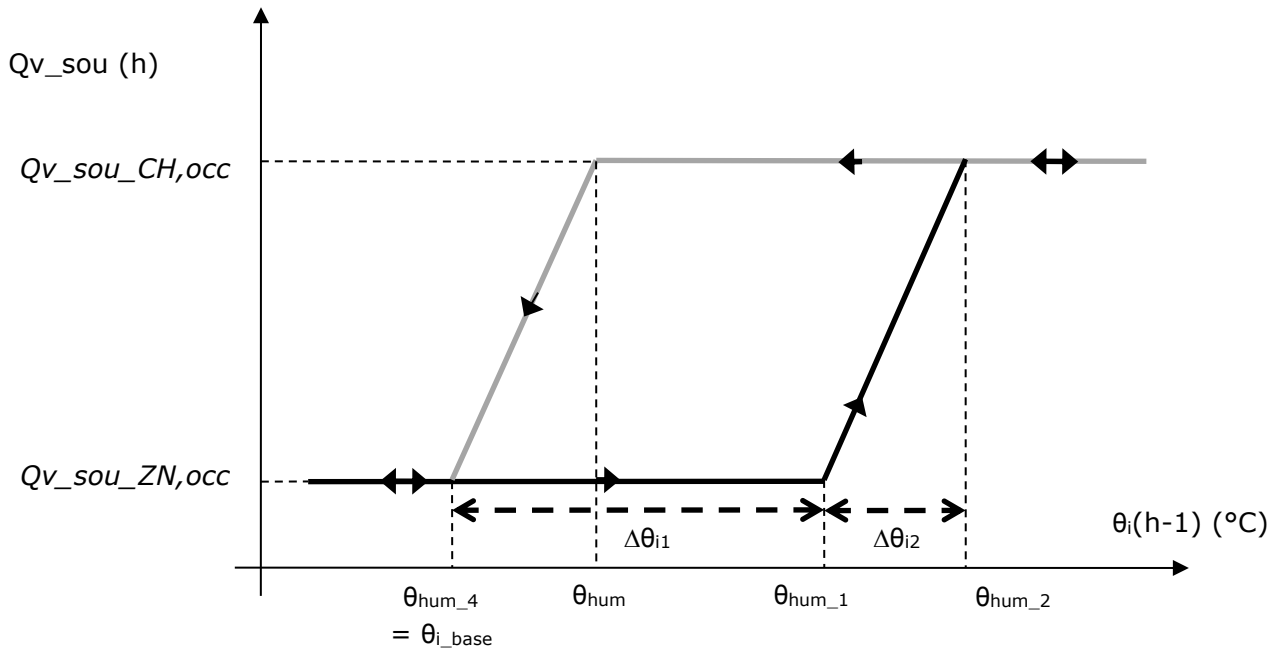
$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (18)$$

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ) :

Selon la température intérieure au pas de temps précédent, le débit de soufflage évolue entre  $Qv\_sou\_ZN,occ$  et  $Qv\_sou\_CH,occ$ . Le profil choisit pour cette évolution du débit de soufflage en fonction de  $\theta_{i,fin}^s(h-1)$  est un profil à hystérésis basé sur 3 paramètres  $\theta_{i\_base}$ ,  $\Delta\theta_{i1}$  et  $\Delta\theta_{i2}$ .

Les températures de consignes permettant la gestion/régulation du débit de soufflage sont définies ainsi :

$$\begin{aligned} \theta_{hum\_1} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i1} \\ \theta_{hum\_2} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i1} + \Delta\theta_{i2}, \\ \theta_{hum\_3} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i2} \\ \theta_{hum\_4} &= \theta_{i\_base} \end{aligned} \quad (19)$$



**Figure 9 : 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  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \leq \theta_{hum\_4}$ ,

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souZN\_cond}^{g,s}(h)$$

Sinon, si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \geq \theta_{hum\_2}$ ,

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souCH\_cond}^{g,s}(h)$$

Sinon,

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-2) \leq \theta_{i,fin}^s(h-1)$  (augmentation de température d'air)

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \leq \theta_{hum\_1}$ ,

(20)

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = q_{m,sou,cond}^{g,s}(h-1)$$

Sinon, (cas :  $\theta_{hum\_1} < \theta_{i,fin}^s(h-1) < \theta_{hum\_2}$ )

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \text{MAX} \left( q_{m,sou,cond}^{g,s}(h-1); \frac{\rho_{air,souffle}^{g,s}(h-1)}{3600} \cdot \left[ q_{souZN,cond}^{g,s}(h) + \left( q_{souCH,cond}^{g,s}(h) - q_{souZN,cond}^{g,s}(h) \right) \cdot \frac{\theta_{i,fin}^s(h-1) - \theta_{hum,1}}{\theta_{hum,2} - \theta_{hum,1}} \right] \right)$$

Sinon, (diminution de température opérative)

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \geq \theta_{hum\_3}$ ,

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = q_{m,sou,cond}^{g,s}(h-1)$$

Sinon, (cas :  $\theta_{hum\_4} < \theta_{i,fin}^s (h-1) < \theta_{hum\_3}$ )

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = MIN \left( q_{m,sou,cond}^{g,s}(h-1); \frac{\rho_{air,souffle}^{g,s}(h-1)}{3600} \cdot \left[ q_{souZN,cond}^{g,s}(h) + \left( q_{souCH,cond}^{g,s}(h) - q_{souZN,cond}^{g,s}(h) \right) \cdot \frac{\theta_{i,fin}^g(h-1) - \theta_{hum,4}}{\theta_{hum,3} - \theta_{hum,4}} \right] \right)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) = MAX \left( 0; q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (21)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \quad (22)$$

$$q_{m,sou,spec}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) \quad (23)$$

### Débit massique d'air neuf si $Is_{adiab} = 0$

En mode rafraîchissement nocturne ( $i_{rafinooc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (24)$$

Sinon, l'algorithme est le suivant.

Le débit massique d'air neuf minimal (hygiénique) au pas de temps h est le suivant :

$$q_{m,air\_neuf\_min}(h) = \frac{1}{3600} \sum_{g,s \in S} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (25)$$

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 UAT DF dépend donc de la température de l'air neuf et potentiellement de la température intérieure.

Si  $\theta_{an}(h) \leq T_{ENC}$ , alors,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min}(h) \quad (26)$$

Sinon, si  $T_{ENC} < \theta_{an}(h) < T_{ENF}$ ,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min}(h) + \left( q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf\_min}(h) \right) \times \frac{\theta_{an}(h) - T_{ENC}}{T_{ENF} - T_{ENC}} \quad (27)$$

Sinon,

**Cas Type<sub>regul\_AN</sub> = « 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 :

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min}(h) \quad (28)$$

**Cas Type<sub>regul\_AN</sub> = « 1 ) Régulation optimisée »** sur la température extérieure et sur la température de reprise. Dans ce second cas, on maintient un débit d'air neuf supérieur au débit

minimal en mode refroidissement si la température extérieure est inférieure à la température intérieure :

Si  $\theta_{an}(h) < \theta_{i,moy}^g(h)$ , alors :

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (29)$$

Sinon,

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,air\_neuf\_min}(h) \quad (30)$$

Au final, le taux d'air neuf s'exprime de la manière suivante :

$$Taux_{AN}(h) = \frac{q_{m,air\_neuf}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (31)$$

### **Débit massique d'air neuf si Is adiab = 1**

En mode rafraichissement nocturne ( $i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,air\_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (32)$$

Sinon, l'algorithme est le suivant.

Si  $Aut\_adiab = 0$ , on utilise les même algorithmes que lorsque  $Is\_adiab=0$ .

Si  $Aut\_adiab = 1$  alors il n'y a pas de recyclage possible et :

$$\begin{aligned} Taux_{AN}(h) &= 1 \\ q_{m,air\_neuf}(h) &= q_{m,sou,cond}(h) \end{aligned} \quad (33)$$

### **Débits massiques d'air repris (UAT SF)**

Le débit massique repris est calculé à partir des données en soufflage :

$$q_{m,rep,cond}(h) = q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h) \quad (34)$$

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (35)$$

Et pour l'unique composant bouches-conduits de reprise connecté :

Si  $q_{m,rep,cond}(h) < 0$  kg/s, alors,

$$q_{m,rep,spec}(h) = MIN\left(0; q_{m,rep,cond}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{an}(h) \times q_{rep,fuites,hvc}^{g,s}\right) \quad (36)$$

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = q_{m,rep,spec}(h)$$

Sinon,

$$\begin{aligned} q_{m,rep,spec}(h) &= 0 \quad (\text{kg/s}) \\ q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) &= 0 \quad (\text{kg/s}) \end{aligned} \quad (37)$$



### **Débits massiques d'air repris (UAT DF) si $Is_{adiab} = 0$**

En mode rafraîchissement nocturne ( $i_{rafinoocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{rep\_raf,noc\_cond}^{g,s} \quad (38)$$

Sinon, selon le mode de régulation des débits, les débits volumiques utilisés diffèrent :

Cas  $id_{regulation\_debit} = 0$ ) Débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique :

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. L'approche est similaire à celle d'une centrale de traitement d'air à débit d'air constant.

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ) :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (39)$$

En inoccupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 0$ ) :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (40)$$

Cas  $id_{regulation\_debit} = 1$ ) Débit variable en fonction de la charge thermique :

En mode zone neutre, le débit volumique est systématiquement le débit d'indice « ZN » correspondant au minimum hygiénique tout air neuf. L'approche est similaire à celle d'une centrale de traitement d'air à débit d'air variable.

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (41)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = \text{MIN} \left( 0; q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{an}(h) \cdot q_{rep,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (42)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \quad (43)$$

### **Débits massiques d'air repris (UAT DF) si $Is_{adiab} = 1$**

Dès lors que  $Aut_{adiab} = 0$ , le calcul des débits massiques repris est la même que lorsque  $Is_{adiab} = 0$ .

En revanche, si  $Aut_{adiab} = 1$ , on utilise les algorithmes suivants pour modéliser le fonctionnement du système en mode rafraîchissement adiabatique :

En mode rafraîchissement nocturne ( $i_{rafinoocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{rep\_raf,noc\_cond}^{g,s} \quad (44)$$

En inoccupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 0$ ) :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repZN\_cond}^{g,s}(h) \quad (45)$$

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ) :

Selon la température intérieure au pas de temps précédent, le débit repris évolue entre  $Qv\_rep\_ZN,occ$  et  $Qv\_rep\_CH,occ$ . Le profil choisi pour cette évolution du débit repris en fonction de  $\theta_{i,fin}^s(h-1)$  est un profil à hystérésis basé sur 3 paramètres  $\theta_{i\_base}$ ,  $\Delta\theta_{i1}$  et  $\Delta\theta_{i2}$ .

Les températures de consignes permettant la gestion/régulation du débit de soufflage sont définies ainsi :

$$\begin{aligned} \theta_{hum\_1} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i1} \\ \theta_{hum\_2} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i1} + \Delta\theta_{i2}, \\ \theta_{hum\_3} &= \theta_{i\_base} + \Delta\theta_{i2} \\ \theta_{hum\_4} &= \theta_{i\_base} \end{aligned} \quad (46)$$

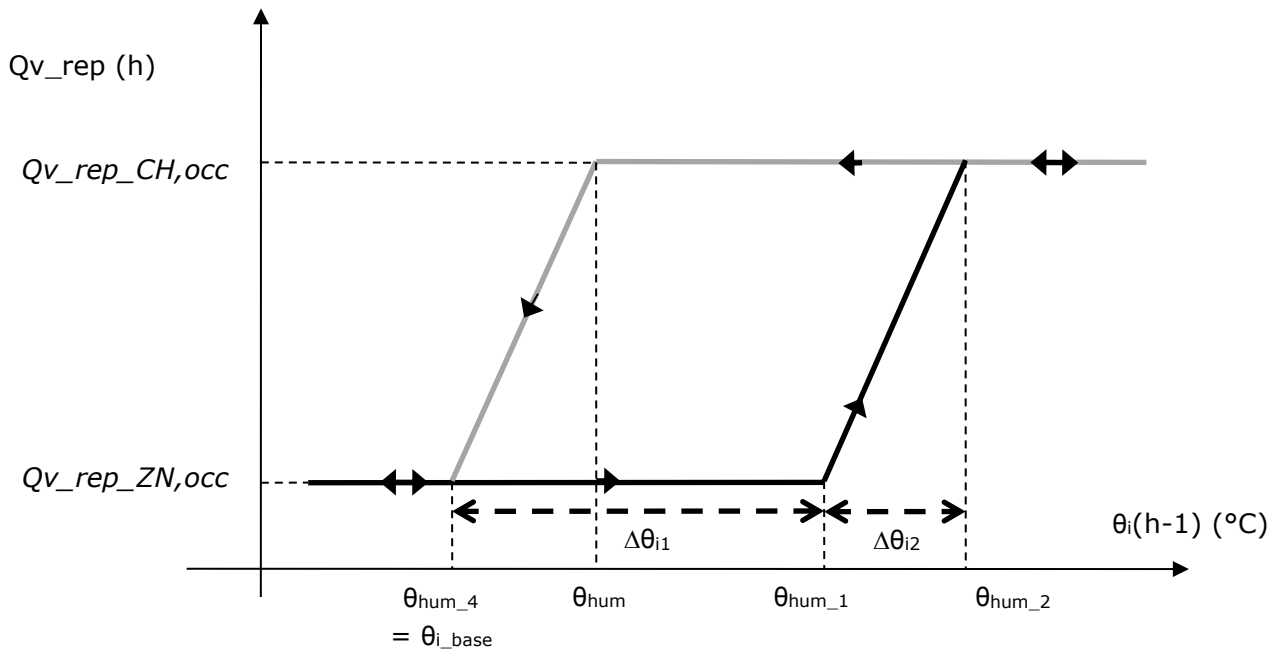


Figure 10 : Diagramme à hystérésis décrivant l'évolution du débit repris en fonction de la température intérieure au pas de temps précédent

L'algorithme donnant à chaque pas de temps le débit de soufflage est le suivant :

$$\text{Si } \theta_{i,fin}^s(h-1) \leq \theta_{hum\_4}, \quad (47)$$

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g(h-1) \cdot q_{repZN\_cond}^{g,s}(h)$$

Sinon, si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \geq \theta_{hum\_2}$ ,

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g(h-1) \cdot q_{repCH\_cond}^{g,s}(h)$$

Sinon,

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-2) \leq \theta_{i,fin}^s(h-1)$  (augmentation de température d'air)

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \leq \theta_{hum\_1}$ ,

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = q_{m,rep,cond}^{g,s}(h-1)$$

Sinon, (cas :  $\theta_{hum\_1} < \theta_{i,fin}^s(h-1) < \theta_{hum\_2}$ )

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = MAX \left( q_{m,rep,cond}^{g,s}(h-1); \frac{\rho_{i,fin}^g(h-1)}{3600} \cdot \left[ q_{repZN,cond}^{g,s}(h) + \left( q_{repCH,cond}^{g,s}(h) - q_{repZN,cond}^{g,s}(h) \right) \cdot \frac{\theta_{i,fin}^g(h-1) - \theta_{hum\_1}}{\theta_{hum\_2} - \theta_{hum\_1}} \right] \right)$$

Sinon, (diminution de température opérative)

Si  $\theta_{i,fin}^s(h-1) \geq \theta_{hum\_3}$ ,

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = q_{m,rep,cond}^{g,s}(h-1)$$

Sinon, (cas :  $\theta_{hum\_4} < \theta_{i,fin}^s(h-1) < \theta_{hum\_3}$ )

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = MIN \left( q_{m,rep,cond}^{g,s}(h-1); \frac{\rho_{i,fin}^g(h-1)}{3600} \cdot \left[ q_{repZN,cond}^{g,s}(h) + \left( q_{repCH,cond}^{g,s}(h) - q_{repZN,cond}^{g,s}(h) \right) \cdot \frac{\theta_{i,fin}^g(h-1) - \theta_{hum\_4}}{\theta_{hum\_3} - \theta_{hum\_4}} \right] \right)$$

Dans tous les cas, le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = MIN \left( 0; q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{an}(h) \cdot q_{rep,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (48)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \quad (49)$$

### **Débit massique d'air rejeté (UAT DF)**

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,

$$q_{m,rep,cond}(h) = MIN(q_{m,rep,cond}(h); q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (50)$$

$$q_{m,air\_extraï}(h) = q_{m,rep,cond}(h) - (q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (51)$$

Sinon,

$$q_{m,air\_extraï}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (52)$$

### **Puissances et consommations des ventilateurs si $Is_{adiab} = 0$**

En UAT SF, les puissances de ventilateurs de reprise sont toujours nulles.

En mode rafraichissement nocturne ( $i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_raf,noc} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_rep\_raf,noc} \end{aligned} \quad (53)$$

Sinon, en mode zone neutre, les puissances de ventilateurs prennent les valeurs suivantes :

#### **Cas $id_{regulation\_debit} = 0$ ) Débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique :**

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ), en période de relance ( $is_{relance}(h) = 1$ ) :

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_CH} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_sou\_CH} \end{aligned} \quad (54)$$

En inoccupation au sens de la ventilation et hors période de relance ( $is_{vent}(h) = 0$  et  $is_{relance}(h) = 0$ ) :

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_ZN\_inocc} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \end{aligned} \quad (55)$$

#### **Cas $id_{regulation\_debit} = 1$ ) Débit variable en fonction de la charge thermique :**

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ), en période de relance ( $is_{relance}(h) = 1$ ) :

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_ZN,occ} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_sou\_ZN,occ} \end{aligned} \quad (56)$$

En inoccupation au sens de la ventilation et hors période de relance ( $is_{vent}(h) = 0$  et  $is_{relance}(h) = 0$ ) :

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_ZN\_inocc} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_sou\_ZN\_inocc} \end{aligned} \quad (57)$$

### **Puissances et consommations des ventilateurs si $Is_{adiab} = 1$**

En UAT SF, les puissances de ventilateurs de reprise sont toujours nulles.

En mode rafraichissement nocturne ( $i_{rafinocc\_activé}(h) = 1$ ):

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_raf,noc} \quad (58)$$

$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_rep\_raf,noc}$$

Sinon, en mode zone neutre, dès lors que  $Aut\_adiab = 0$ , le calcul des puissances et consommations des ventilateurs est la même que lorsque  $Is\_adiab = 0$ .

En revanche, si  $Aut\_adiab = 1$ , on applique les algorithmes ci-dessous :

En occupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 1$ ) :

$$P_{vent,rep}(h) = P_{vent,rep,ZN} + (P_{vent,rep,CH} - P_{vent,rep,ZN}) \times [0,6315.R_{rep}(h)^3 + 0,1966.R_{rep}(h)^2 + 0,1719.R_{rep}(h)]$$

$$P_{vent,sou}(h) = P_{vent,sou,ZN} + (P_{vent,sou,CH} - P_{vent,sou,ZN}) \times [0,6315.R_{sou}(h)^3 + 0,1966.R_{sou}(h)^2 + 0,1719.R_{sou}(h)] \quad (59)$$

Avec  $R_{rep}$  et  $R_{sou}$  les rapports des écarts aux débits de zone neutre calculés comme suit :

$$R_{rep}(h) = \frac{3600 \cdot \frac{q_{m,rep,cond}(h)}{\rho_{air,repris}(h-1)} - \sum_{g,s} q_{repZN,cond}^{g,s}(h)}{\sum_{g,s} q_{repCH,cond}^{g,s}(h) - \sum_{g,s} q_{repZN,cond}^{g,s}(h)} \quad (60)$$

$$R_{souf}(h) = \frac{3600 \cdot \frac{q_{m,souf,cond}(h)}{\rho_{air,souffle}(h-1)} - \sum_{g,s} q_{soufZN,cond}^{g,s}(h)}{\sum_{g,s} q_{soufCH,cond}^{g,s}(h) - \sum_{g,s} q_{soufZN,cond}^{g,s}(h)}$$

En inoccupation au sens de la ventilation ( $is_{vent}(h) = 0$ ) :

$$P_{vent\_rep}(h) = P_{vent\_rep\_ZN\_inocc} \quad (61)$$

$$P_{vent\_sou}(h) = P_{vent\_sou\_ZN\_inocc}$$

### Températures et humidité de l'air repris

Les températures extraites sont calculées à partir des nouveaux débits pour chaque composant bouches-conduits :

$$T_{Lnc}^{g,s}(h) = (1 - b_{thermique}^{et}(h)) \times \theta_{i,fin}^g(h-1) + b_{thermique}^{et}(h) \times \theta_{ext}(h) \quad (62)$$

$$\theta_{icond}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) \times \theta_{i,fin}^g(h-1) + (q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - q_{m,rep,spec}^{g,s}(h)) \times T_{Lnc}^{g,s}(h)}{q_{m,rep,cond}^{g,s}(h)} \quad (63)$$

$$\theta_{extr1}^{g,s}(h) = \theta_{icond}^{g,s}(h) - (\theta_{icond}^{g,s}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times \left( 1 - \exp\left(-\frac{H_{cond,rep,ext}^{g,s}}{C_{pa} \times q_{m,rep,cond}(h)}\right) \right) \quad (64)$$

Au niveau de la centrale, la température extraite après passage dans les conduits est la suivante :

$$\theta_{extr1}(h) = \frac{\sum (\theta_{extr1}^{g,s}(h) \times q_{m,rep,cond}^{g,s}(h))}{q_{m,rep,cond}(h)} \quad (65)$$

$$\theta'_{extr2\_1}(h) = \theta_{extr1}(h) + \frac{pel \times P_{vent\_rep}(h)}{C_{pa} \times q_{m,rep,cond}(h)} \quad (66)$$

L'humidité de l'air extrait au niveau de la centrale est la suivante :

Si  $Is\_adiab = 1$ ,  $Aut\_adiab=1$  et si  $Type\_adiab=2$  alors,

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times \exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{(\theta'_{extr2\_1}(h) + 235.0)}\right)$$

On définit la fonction FADIAB(T,w) décrivant le possible accroissement d'humidité.

<pre> FADIAB(T,w) FA = 0 A = 18.8161 B = 4110.34 C = 235 FXH = max(0, 0.2545 * T - 0.3636 * w) FA = (T + C - (2.5 * FXH)) * (A - log(w + FXH)) - B Tant que FA &gt; 0 alors     FXH = FXH + 0.1     FA1 = FA     FA=(T + C - 2.5 * FXH) * (A - log(w + FXH)) - B FADIAB = FXH - 0.1 * FA / (FA - FA1)         </pre>
--

$$\omega_{souf,hum}(h) = \omega_{i,fin}^g(h-1) + \eta_{nom} \times FADIAB(\theta'_{extr2\_1}(h), \omega_{i,fin}^g(h-1))$$

On définit une humidité spécifique que l'on ne peut pas dépasser lors de l'humification. (67)

$$\omega_{souf,hum\_lim} = \omega_{sat} \cdot \eta_{nom}$$

Si  $\omega_{souf,hum\_lim} < \omega_{souf,hum}$ , alors  $\omega_{souf,hum\_lim} = \omega_{souf,hum}$

Si  $\omega_{souf,hum\_lim} < \omega_{i,fin}^g(h-1)$ , alors  $\omega_{souf,hum} = \omega_{i,fin}^g(h-1)$

$$\Delta\omega_{souf,hum} = \omega_{souf,hum} - \omega_{i,fin}^g(h-1)$$

$$\Delta T_{souf,hum} = -2.5 \Delta\omega_{souf,hum} * 1000$$

$$T_{souf,hum} = \Delta T_{souf,hum} + \theta'_{extr2\_1}(h)$$

$$\omega_{souf,hum} = \Delta\omega_{souf,hum} + \omega_{i,fin}^g(h-1)$$

$$\theta'_{extr2}(h) = T_{souf,hum} \text{ et } \omega_{extr}(h) = \omega_{souf,hum}$$

Sinon,

$$\omega_{extr}(h) = \omega_{i,fin}^g(h-1)$$

$$\theta'_{extr2}(h) = \theta'_{extr2\_1}(h)$$

### **Détermination de l'activation du bypass de l'échangeur (UAT DF) :**

Si  $ls\_adiab = 1$ ,  $Aut\_adiab=1$  et si  $Type\_adiab=2$  alors,

$$\delta_{bypass}(h) = 0 \quad (68)$$

Sinon,

En mode rafraîchissement nocturne ( $i_{rafinooc\_activé}(h) = 1$ ):

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (69)$$

Sinon, 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  $\theta_{ext,bypass,hiver}$  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  $\theta_{ext}(h) < \theta_{i,fin}^{gr}(h-1)$  et  $\theta_{ext}(h) > \theta_{ext,bypass,été}$  et  $\theta_{i,fin}^{gr}(h-1) > \theta_{int,bypass,été}$ , alors,

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (70)$$

Sinon,

$$\delta_{bypass}(h) = 0 \quad (71)$$

### **Détermination de l'efficacité d'échangeur (UAT DF) :**

Si  $\delta_{bypass}(h) = 1$ , alors,

$$\varepsilon(h) = 0 \quad (72)$$

$$W_{ech}(h) = 0 \text{ [Wh]}$$

Sinon,

$$W_{ech}(h) = P_{ech} \quad (73)$$

Cas :  $id_{niveau\_détail\_échangeur} = 0$  : prise en compte détaillée de l'échangeur

$$C_{air\_rejeté}(h) = C_{pa} \times q_{m,air\_extrait}(h)$$

$$C_{air\_neuf}(h) = C_{pa} \times q_{m,air\_neuf}(h) \quad (74)$$

$$C(h) = \frac{\min(C_{air\_neuf}(h); C_{air\_rejeté}(h))}{\max(C_{air\_neuf}(h); C_{air\_rejeté}(h))}$$

$$NUT(h) = \frac{UA}{\min(C_{air\_neuf}(h); C_{air\_rejeté}(h))} \quad (75)$$

Cas id<sub>type\_echangeur</sub> = 1 : écoulements à contre-courant

Si C(h) = 1, alors :

$$\varepsilon(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h) + 1} \quad (76)$$

Sinon

$$\varepsilon(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1-C(h))}}{1 - C(h).e^{-NUT(h).(1-C(h))}} \quad (77)$$

Cas id<sub>type\_echangeur</sub> = 2 : écoulements à courants parallèles

$$\varepsilon(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h).(1+C(h))}}{1 + C(h)} \quad (78)$$

Cas id<sub>type\_echangeur</sub> = 3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés

$$\varepsilon(h) = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NUT(h)}} + \frac{C(h)}{1 - e^{-NUT(h).C(h)}} - \frac{1}{NUT(h)}} \quad (79)$$

Au final, l'efficacité ramenée aux écarts de températures est la suivante :

$$\varepsilon(h) = \frac{MIN(C_{air\_neuf}(h); C_{air\_rejeté}(h))}{C_{air\_neuf}(h)} \times \varepsilon(h) \quad (80)$$

Cas : id<sub>niveau\_détail\_echangeur</sub> = 1 : prise en compte simplifiée de l'échangeur

L'efficacité appliquée est constante égale au paramètre défini en préprocesseur.

$$\varepsilon(h) = \varepsilon_t \quad (81)$$

**Prise en compte la fonction antigel (is<sub>antigel</sub> = 1) (UAT DF) :**

**Si Aut<sub>ch,eff</sub>(j)=1 et ε(h) >0, alors:**

On calcule dans un premier temps la température d'air extrait en l'absence d'activation de l'antigel.

La caractérisation de l'efficacité d'échangeur statique, en intégrant la prise en compte du bypass éventuel, a déjà été faite dans la première partie du calcul (chapitre 1.1.3). La température θ<sub>extr2</sub>(h) a cependant été recalculée en intégrant l'activation de la fonction chauffage.

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) - \varepsilon(h).(\theta_{extr2}(h) - \theta_{an}(h)) \quad (82)$$

$$\theta_{ech,min}(h) = \theta_{extr3}(h) + \frac{(\theta_{sec} h_{repLIM} - \theta_{extr3}(h))}{\varepsilon(h)} \quad (83)$$

La température d'entrée de l'échangeur du réseau d'amenée d'air de soufflage est alors défini comme suit.

$$\theta_{souf,ag}(h) = MAX(\theta_{AN}(h); \theta_{ech,min}(h)) \quad (84)$$



Le besoin de chauffage lié à la fonction antigel est le suivant :

$$W_{chaud\_ag}(h) = q_{m,air\_neuf}(h) \times C_{pa} \times MAX(0; \theta_{souf,ag}(h) - \theta_{AN}(h)) \quad (85)$$

En l'absence de fonction antigel ( $iS_{antigel} = 0$ ), ou lorsqu'elle est désactivée ( $Aut_{ch,eff}(j)=0$  ou  $\varepsilon(h) = 0$ ), alors :

$$\theta_{souf,ag}(h) = \theta_{AN}(h) \quad (86)$$

**Prise en compte l'échangeur statique et de la fonction de bypass associée (UAT DF) :**

$$\theta_{souf1}(h) = \theta_{souf,ag}(h) + \varepsilon(h) \cdot (\theta_{extr2}(h) - \theta_{souf,ag}(h)) \quad (87)$$

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) - \varepsilon(h) \cdot (\theta_{extr2}(h) - \theta_{souf,ag}(h)) \quad (88)$$

**Prise en compte de la boîte de mélange :**

$$\theta_{souf,mel}(h) = \frac{(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h))\theta_{extr2}(h) + q_{m,air\_neuf}(h) \cdot \theta_{souf1}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (89)$$

$$\omega_{souf,mel}(h) = \frac{(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h))\omega_{extr}(h) + q_{m,air\_neuf}(h) \cdot \omega_{an}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (90)$$

**Température d'air rejeté (UAT DF) :**

$$\theta_{air\_extrait}(h) = \theta_{extr3}(h) \quad (91)$$

**Prise en compte du ventilateur de soufflage:**

$$\theta_{souf2}(h) = \theta_{souf,mel}(h) + \frac{pel \times P_{vent\_sou}(h)}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}(h)} \quad (92)$$

### Température d'air soufflé :

Si  $Is\_adiab = 1$ ,  $Aut\_adiab=1$  et si  $Type\_adiab=1$  alors,

$$\omega_{i,fin}^{g,sat}(h) = 10^{-3} \times \exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{(\theta_{i,fin}^g(h) + 235.0)}\right)$$

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times \exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{(\theta_{souf2}(h) + 235.0)}\right)$$

On définit la fonction FADIAB(T,w) décrivant le possible accroissement d'humidité.

FADIAB(T,w) FA=0 A=18.8161 B=4110.34 C=235 FXH=max(0, 0.2545 * T - 0.3636 * w) FA=(T + C - (2.5 * FXH)) * (A - log(w + FXH)) - B Tant que FA > 0 alors FXH = FXH + 0.1 FA1 = FA FA=(T + C - 2.5 * FXH) * (A - log(w + FXH)) - B FADIAB = FXH - 0.1 * FA / (FA - FA1)
---

Si  $\omega_{i,fin}^g(h-1) < 0.7 * \omega_{i,fin}^{g,sat}(h-1)$  (70% sous la saturation)

$$\omega_{souf,hum}(h) = \omega_{souf,mel}(h) + \eta_{nom} \times FADIAB(\theta_{souf2}(h), \omega_{souf,mel}(h)) \quad (93)$$

On définit une humidité spécifique que l'on ne peut pas dépasser lors de l'humification.

$$\omega_{souf,hum\_lim} = \omega_{sat} \mathcal{N}_{nom}$$

Si  $\omega_{souf,hum\_lim} < \omega_{souf,hum}$ , alors  $\omega_{souf,hum\_lim} = \omega_{souf,hum}$

Si  $\omega_{souf,hum\_lim} < \omega_{souf,mel}(h)$ , alors  $\omega_{souf,hum} = \omega_{souf,mel}(h)$

$$\Delta\omega_{souf,hum\_dir\_été} = \omega_{souf,hum\_dir\_été} - \omega_{souf,mel}(h)$$

$$\Delta T_{souf,hum} = -2.5 \Delta\omega_{souf,hum} * 1000$$

$$T_{souf,hum} = \Delta T_{souf,hum} + \theta_{souf2}(h)$$

$$\omega_{souf,hum} = \Delta\omega_{souf,hum} + \omega_{souf,mel}(h)$$

$$\theta_{air\_soufflé}(h) = T_{souf,hum} \text{ et } \omega_{air\_soufflé}(h) = \omega_{souf,hum}$$

Sinon,

$$\omega_{air\_soufflé}(h) = \omega_{souf,mel}(h)$$

$$\theta_{air\_soufflé}(h) = \theta_{souf2}(h)$$

Sinon,

$$\omega_{air\_soufflé}(h) = \omega_{souf,mel}(h)$$

$$\theta_{air\_soufflé}(h) = \theta_{souf2}(h)$$

Au niveau des bouches-conduits de soufflage, les données de sortie sont les suivantes :

$$\theta_{air\_soufflé}^{g,s}(h) = \theta_{air\_soufflé}(h) - (\theta_{air\_soufflé}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times \left( 1 - \exp\left(-\frac{H_{cond,souf,ext}^{g,s}}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}\right) \right) \quad (94)$$

$$\omega_{air\_soufflé}^{g,s}(h) = \omega_{air\_soufflé}(h) \quad (95)$$

$$\rho_{air\_soufflé}^{g,s}(h) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{air\_soufflé}^{g,s}(h))} \quad (96)$$

### **Consommation des ventilateurs :**

$$W_{vent}(h) = P_{vent\_rep}(h) + P_{vent\_souf}(h) \quad (97)$$

$$W_{aux\_V\_vent}^{g,s}(h) = \frac{W_{vent}(h) \times q_{m,sou\_spec}^{g,s}(h)}{q_{m,sou\_spec}(h)} \quad (98)$$

### **Consommation des pompes si Aut\_adiab=1 :**

Tout d'abord, il faut calculer quel débit d'eau a servi à l'humidification de l'air :

$$\text{Si Type\_adiab}=1 \text{ alors } q_{m,eau}^{pompe}(h) = q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \times (\omega_{air\_soufflé}(h) - \omega_{souf,mel}(h)) \quad (99)$$

$$\text{Si Type\_adiab}=2 \text{ alors } q_{m,eau}^{pompe}(h) = q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \times (\omega_{extr}(h) - \omega_{i,fin}^g(h-1))$$

$$W_{aux\_V\_dist}^{g,s}(h) = \frac{(-0.0057 \times q_{m,eau}^{pompe}(h)^2 - 0.7842 \times q_{m,eau}^{pompe}(h) + 18778) \times q_{m,eau}^{pompe}(h)}{(-3E-07 \times q_{m,eau}^{pompe}(h)^2 + 0.0004 \times q_{m,eau}^{pompe}(h) + 0.0031)} \quad (100)$$

Head (m)	Flow Rate (l/min)	Pump Power Input (W)	Pump Hydraulic Power Output (W)	Pump Efficiency (%)
0.8	22	21	2.9	13.7
1	20	20	3.3	16.4
1.2	17	19	3.3	17.6
1.4	14	17	3.2	18.9
1.6	11	16	2.9	18.0
1.8	8	14	2.4	16.8
1.9	0	12	0.0	0.0

**Tableau 2 : Caractéristiques d'une pompe représentative de ce type de système**

### 1.1.5 MODÉLISATION DE L'UAT EN MODE ACTIF : CHAUFFAGE OU REFROIDISSEMENT ACTIVÉ

Le calcul en mode actif 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 différents sous-composants de l'UAT doit être revue.

Dans le cas où  $Is_{adiab}=1$ , on appliquera ces algorithmes que lorsque l'on sera en mode chauffage avec  $Aut_{adiab}=0$  et lorsque l'on sera en mode refroidissement avec  $Type_{adiab}=2$ .

#### 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 :

$$P_{ZN}(h) = \sum_{g,s} (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf,mel}(h)) q_{m,sou\_spec}^{g,s}(h) \cdot (\theta_{air\_souffle}^{g,s}(h) - \theta_{i,moy}^g(h)) \quad (101)$$

#### Air neuf et air repris

La masse volumique de l'air intérieur est la suivante :

$$\rho_{i,moy}^g(h) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{i,moy}^g(h))} \quad (102)$$

Pour une unité de toiture, l'association avec un puits climatique ou une espace tampon solarisé est considérée impossible.

La température et la masse volumique d'air neuf sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \theta_{an}(h) &= \theta_{ext}(h) \\ \rho_{an}^g(h) &= \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{an}(h))} \end{aligned} \quad (103)$$

#### Débits massiques soufflés

Les débits d'indice « CH » correspondent aux débits nominaux de fonctionnement en chauffage ou refroidissement.

Pour le débit massique soufflé, on conserve la masse volumique précédemment calculée :

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h) \cdot q_{souCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (104)$$

Le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) = MAX \left( 0; q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{air\_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (105)$$

Du point de vue de l'UAT, cela donne :

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \quad (106)$$

$$q_{m,sou,spec}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) \quad (107)$$

### **Débit massique d'air neuf**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les données recalculées sont  $Taux_{AN}(h)$  et  $q_{m,air\_neuf}(h)$ .

### **Débit massique repris (UAT SF)**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les données recalculées sont  $q_{m,rep,cond}(h)$ ,  $q_{m,rep,spec}(h)$ ,  $q_{m,rep,cond}^{g,s}(h)$ ,  $q_{m,rep,spec}^{g,s}(h)$ .

### **Débits massiques repris (UAT DF)**

Les débits d'indice « CH » correspondent aux débits nominaux de fonctionnement en chauffage ou refroidissement.

Pour le débit massique soufflé, on conserve la masse volumique précédemment calculée :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,moy}^g(h) \cdot q_{repCH\_cond}^{g,s}(h) \quad (108)$$

Le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = MIN \left( 0; q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g(h-1) \cdot q_{rep,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (109)$$

Du point de vue de UAT DF, cela donne :

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \quad (110)$$

### **Débit massique d'air rejeté (UAT DF)**

L'approche diffère un peu entre le mode zone neutre et le mode actif. En effet, en mode actif, il convient de distinguer les spécificités des UAT DF 4 volets.

En UAT DF 4 volets, outre la boîte de mélange classique (recyclage d'air repris en air soufflé), les UAT DF 4 volets présentent la particularité de mélanger l'air repris avec l'air extérieur au niveau de la source amont d'un générateur thermodynamique air/air. Par hypothèse, on considérera que le débit massique total rejeté dans ce cas de figure est égal au débit massique total soufflé.

Cas «  $id_{type\ UAT\ DF} = 1$ ) UAT DF 3 volets » :

Si  $Taux_{AN}(h) < 1$ , alors,

$$q_{m,rep,cond}(h) = MIN(q_{m,rep,cond}(h); q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (111)$$

$$q_{m,air\_extraît}(h) = q_{m,rep,cond}(h) - (q_{m,air\_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (112)$$

Sinon,

$$q_{m,air\_extraît}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (113)$$

Cas «  $id_{type\ UAT\ DF} = 2$ ) UAT DF 4 volets » :

$$q_{m,air\_extraît}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (114)$$

### **Puissances et consommations des ventilateurs**

En mode actif, les puissances de ventilateurs prennent les valeurs d'indice « occ », correspondant à la vitesse nominale de fonctionnement des ventilateurs.

$$\begin{aligned} P_{vent\_rep}(h) &= P_{vent\_rep\_CH} \\ P_{vent\_sou}(h) &= P_{vent\_sou\_CH} \end{aligned} \quad (115)$$

En UAT SF, les puissances de ventilateurs de reprise sont toujours nulles.

### **Températures et humidité de l'air repris**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre, sauf qu'on utilise  $\theta_{i,moy}^{g,s}(h)$  et  $\omega_{i,moy}^{g,s}(h)$ , au lieu de  $\theta_{i,fin}^{g,s}(h-1)$  et  $\omega_{i,fin}^{g,s}(h-1)$ .

Les variables calculées sont  $T_{inc}^{g,s}(h)$ ,  $\theta_{extr2(rec.)}(h)$  et  $\omega_{extr(rec.)}(h)$ .

### **Détermination de l'activation du bypass de l'échangeur (UAT DF) :**

Ce paragraphe est identique en l'algorithme en mode zone neutre. La variable calculée est  $\delta_{bypass}(h)$ .

### **Détermination de l'efficacité d'échangeur (UAT DF) :**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les variables calculées sont  $\epsilon^{g,s}(h)$ ,  $W_{ech}(h)$ .

### **Prise en compte la fonction antigel ( $is_{antigel} = 1$ ) (UAT DF) :**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les variables calculées sont  $\theta_{souf,ag}(h)$ ,  $W_{chaud\_ag}(h)$  et  $\theta_{extr3}(h)$

### **Prise en compte l'échangeur statique et de la fonction de bypass associée (UAT DF) :**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les variables calculées sont  $\theta_{sout,1}(h)$  et  $\theta_{extr3}(h)$  (recalculé selon l'hypothèse d'activation d'antigel ou non).

#### **Prise en compte de la boîte de mélange :**

Ce paragraphe est identique à l'algorithme en mode zone neutre. Les variables calculées sont  $\theta_{sout,mel}(h)$  et  $\omega_{sout,mel}(h)$ .

#### **Température d'air rejeté (UAT DF) :**

En UAT DF 3 volets, le débit et la température de l'air rejeté sont les suivants :

Cas «  $id_{type\ UAT\ DF} = 1$ ) UAT DF 3 volets » :

$$\theta_{air\_extrait}(h) = \theta_{extr3}(h) \quad (116)$$

Cas «  $id_{type\ UAT\ DF} = 2$ ) UAT DF 4 volets » :

La température d'air rejeté est donc la suivante :

$$\theta_{air\_extrait}(h) = \frac{1}{|q_{m,air\_extrait}(h)|} \times \left[ \left( |q_{m,air\_extrait}(h)| - \left( |q_{m,rep,cond}(h)| - \left( q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h) \right) \right) \right) \theta_{AN}(h) + \left( |q_{m,rep,cond}(h)| - \left( q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air\_neuf}(h) \right) \right) \theta_{extr3}(h) \right] \quad (117)$$

#### **Prise en compte du ventilateur de soufflage:**

$$\theta_{sout2}(h) = \theta_{sout,mel}(h) + \frac{pel \times P_{vent\_sou}(h)}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}(h)} \quad (118)$$

#### **Température de l'air soufflé au niveau des bouches**

Cas  $id_{regulation\ debit} = 0$ ) Débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique :

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.

Le taux de charge de l'UAT, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif, est de 100% :

$$\tau_{CH/FR}(h) = 1 \quad (119)$$

Chauffage de l'air ( $Q_{sys\_ch}(h) > 0$  Wh):

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^g(h) + \frac{Q_{sys\_ch}(h) + P_{ZN}(h)}{(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{sout\_mel}(h)) \times q_{m,sou\_spec}(h)} \quad (120)$$

Refroidissement de l'air ( $Q_{sys\_fr}(h) < 0$  Wh):

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^g(h) + \frac{Q_{sys\_fr}(h) + P_{ZN}(h)}{(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf,mel}(h)) \times q_{m,sou\_spec}(h)} \quad (121)$$

Cas id<sub>regulation debit</sub> = 1) Débit variable en fonction de la charge thermique :

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 (Q<sub>sys\_ch</sub>(h) > 0 Wh) :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{sou\_nom\_chaud} \quad (122)$$

La quantité d'énergie fournie par l'UAT en chauffage à sa température nominale par rapport aux déperditions ou apports en fonctionnement zone neutre est la suivante :

$$P_{sys\_CH/FR\_max}(h) = (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf\_mel}(h)) \times q_{m,sou\_spec}(h) \times (\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{i,moy}^g(h)) - P_{ZN}(h) \quad (123)$$

On en déduit le taux de charge de l'UAT, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif :

$$\tau_{CH/FR}(h) = MIN \left( 1; \frac{Q_{sys\_ch}(h)}{P_{sys\_CH/FR\_max}(h)} \right) \quad (124)$$

En cas de puissance insuffisante au niveau des générateurs de l'UAT au pas de temps précédent, on considère qu'on fonctionne à débit nominale au pas de temps actuel :

$$\text{Si } iS_{report\_ch^g}(h-1) = 1 \text{ OU } iS_{report\_fr^g}(h-1) = 1, \text{ alors,} \quad (125)$$

$$\tau_{CH/FR}(h) = 1$$

Lorsque le taux de charge devrait être supérieur à 1, on complète l'énergie fournie en considérant une augmentation de la température soufflée selon les relations (120).

Refroidissement de l'air (Q<sub>sys\_fr</sub>(h) < 0 Wh) :

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 :

$$\exp H^{g,s}(h) = \exp \left( - \frac{H_{cond,souf,ext}^{g,s}}{C_{pa} \cdot q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)} \right) \quad (126)$$

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \frac{\sum_{g,s} [q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \times (\theta_{souf2}(h) - (\theta_{souf2}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times (1 - \exp H^{g,s}(h)))]}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (127)$$

$$\theta_{sou,bouches}(h) = MIN(\theta_{sou\_nom\_froid}; \theta_{sou,bouches}(h)) \quad (128)$$

La quantité d'énergie fournie par l'UAT en refroidissement à sa température nominale est la suivante :



$$P_{sys\_CH/FR\_max}(h) = (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf\_mel}(h)) \times q_{m,sou\_spec}(h) \times (\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{i,moy}^g(h)) + P_{ZN}(h) \quad (129)$$

On en déduit le taux de charge de UAT DF, équivalent au temps de fonctionnement en mode actif. On rappelle que  $P_{ZN}(h)$  correspond aux déperditions ou apports thermiques par UAT DF en zone neutre, précédemment calculés dans la partie 1.

$$\tau_{CH/FR}(h) = MIN\left(1; \frac{Q_{sys\_fr}(h)}{P_{sys\_CH/FR\_max}(h)}\right) \quad (130)$$

Lorsque le taux de charge devrait être supérieur à 1, on complète l'énergie fournie en considérant une diminution de la température soufflée selon les relations (121).

### **Température de l'air soufflé au niveau de l'UAT :**

La température d'air soufflé en aval de l'UAT est calculée à partir de la température moyenne d'air soufflé requise aux bouches et des pertes/fuites aérauliques hors volume chauffé :

$$\theta_{air\_souffle}(h) = \frac{\sum_{g,s} \left[ q_{m,sou,cond}(h) \times \frac{(\theta_{sou,bouches}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h) \times (1 - \exp H^{g,s}(h)))}{\exp H^{g,s}(h)} \right]}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (131)$$

$\exp H^{g,s}(h)$  est calculé selon la relation (126).

### **Prise en compte du chauffage/refroidissement**

La température d'air soufflé correspond à la température en sortie de l'étape de chauffage/refroidissement :

$$\theta_{souf\_CH/FR}(h) = \theta_{air\_souffle}(h) \quad (132)$$

### **Chauffage de l'air ( $Q_{sys,ch}(h) > 0$ Wh) :**

Le besoin de chauffage recalculé au niveau de l'UAT est donc le suivant. Ce besoin s'exprimant en Wh, il doit tenir compte de la durée de fonctionnement en mode actif :

$$Q_{sys\_ch}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf\_mel}(h)) \times q_{m,sou\_cond}(h) \times (\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)) \quad (133)$$

$$Q_{sys\_ch}(h) = MAX(0; Q_{sys\_ch}(h)) \quad (134)$$

### **Refroidissement de l'air ( $Q_{sys,fr}(h) < 0$ Wh) :**

Le besoin de refroidissement recalculé au niveau de l'UAT est donc le suivant. Ce besoin s'exprimant en Wh, il doit tenir compte de la durée de fonctionnement en mode actif :

$$Q_{sys\_fr}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf\_mel}(h)) \times q_{m,sou\_cond}(h) \times (\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)) \quad (135)$$

$$Q_{sys\_fr}(h) = MIN(0; Q_{sys\_fr}(h)) \quad (136)$$

Le besoin de refroidissement précédemment calculé correspond au besoin sensible (sans déshumidification). Il convient de prendre en compte également le besoin latent.

Si  $Q_{sys\_fr}(h) < 0$  (Wh), alors,

On introduit le facteur de bypass FB de la batterie froide ou de l'évaporateur, correspondant à la fraction de l'air soufflé qui n'est pas affectée par l'échange thermique. Ce facteur de bypass FB est fixé conventionnellement à 20%, valeur également retenue dans le chapitre 10.1 *C\_Emi\_Systèmes d'émissions du groupe* des règles Th-BCE. Cette hypothèse permet de déterminer une température de surface de batterie froide ou d'évaporateur équivalente selon la relation suivante. Cette température de surface équivalente est limitée à 9°C, valeur conventionnelle retenue pour les climatiseurs dans le chapitre 10.1 des règles Th-BCE :

$$\theta_{batt}(h) = MAX\left(9^{\circ}C; \theta_{souf2}(h) + \frac{\theta_{souf\_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)}{1 - BP}\right) \quad (137)$$

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times \exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{batt}(h) + 235.0}\right) \quad (138)$$

La déshumidification sur la batterie de refroidissement est déterminée à partir du calcul du facteur de bypass équivalent :

$$Dw(h) = MIN\left(\omega_{sat}(h) - \omega_{souf,mel}(h); 0\right) \times (1 - BP) \quad (139)$$

Et l'humidité en sortie de la batterie froide a pour expression :

$$\omega_{souf\_CH/FR}(h) = \omega_{souf,mel}(h) - Dw(h) \quad (140)$$

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 :

$$Q_{sys\_lat\_fr}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \times q_{m,sou,cond}(h) \times L \times Dw(h) \quad (141)$$

$$Q_{sys\_fr(rec.)}(h) = Q_{sys\_fr(rec.)}(h) + Q_{sys\_lat\_fr}(h) \quad (142)$$

Sinon (besoin de refroidissement recalculé nul),

$$\omega_{souf\_CH/FR}(h) = \omega_{souf,mel}(h) \quad (143)$$

### **Répartition des besoins en énergie sur les différentes bouches-conduits :**

$$Q_{sys\_ch}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \times Q_{sys\_ch}(h) \quad (144)$$

$$Q_{sys\_fr}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \times Q_{sys\_fr}(h) \quad (145)$$

### **Température et humidité de l'air soufflé :**

La température de l'air au niveau des bouches, notée  $\theta_{air\_souffle}^{g,s}(h)$ , est utilisée pour définir la température aval de fonctionnement des générateurs de chauffage/refroidissement. Dans le cas des

UAT, pour évaluer correctement les performances des générateurs, elle doit donc être fixée de manière arbitraire à la valeur suivante :

$$\theta_{air\_soufflé}^{g,s}(h) = \theta_{souf2}(h) \quad (146)$$

Cette température n'a pas d'impact en dehors de la modélisation des générateurs.

Pour ce qui est de l'humidité de l'air soufflé par l'UAT :

$$\omega_{air\_soufflé}(h) = \omega_{souf\_CH/FR}(h) \quad (147)$$

$$\omega_{air\_soufflé}^{g,s}(h) = \omega_{air\_soufflé}(h) \quad (148)$$

### **Consommation de ventilateurs :**

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 :

$$W_{vent(rec.)}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (P_{vent\_rep}(h) + P_{vent\_souf}(h)) + (1 - \tau_{CH/FR}(h)) W_{vent}(h) \quad (149)$$

$$W_{aux\_V}^{g,s}(h) = \frac{W_{vent}(h) \times q_{m,sou\_spec}^{g,s}(h)}{q_{m,sou\_spec}(h)} \quad (150)$$

### **Consommation des pompes si $Aut\_adiab=1$ :**

Tout d'abord, il faut calculer quel débit d'eau a servi à l'humidification de l'air :

$$\text{Si } Type\_adiab=1 \text{ alors } q_{m,eau}^{pompe}(h) = q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \times (\omega_{air\_soufflé}(h) - \omega_{souf,mel}(h)) \quad (151)$$

$$\text{Si } Type\_adiab=2 \text{ alors } q_{m,eau}^{pompe}(h) = q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \times (\omega_{extr}(h) - \omega_{i,fin}^g(h-1))$$

$$W_{aux\_V\_dist}^{g,s}(h) = \frac{(-0.0057 \times q_{m,eau}^{pompe}(h)^2 - 0.7842 \times q_{m,eau}^{pompe}(h) + 18778) \times \frac{q_{m,eau}^{pompe}(h)}{3600}}{(-3E-07 \times q_{m,eau}^{pompe}(h)^2 + 0.0004 \times q_{m,eau}^{pompe}(h) + 0.0031)} \quad (152)$$