

Aménagement, nature

MINISTÈRE DE L'ÉGALITÉ DES TERRITOIRES
ET DU LOGEMENT

Direction de l'habitat, de l'urbanisme
et des paysages

Arrêté du 28 mars 2014 relatif à l'agrément de la demande de titre V relative à la prise en compte des unités autonomes de toiture dans la réglementation thermique 2012

NOR : ETLL1407392A

(Texte non paru au *Journal officiel*)

La ministre de l'égalité des territoires et du logement et le ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie,

Vu la directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil en date du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte) ;

Vu le code de la construction et de l'habitation, notamment ses articles L. 111-9 et R. 111-20 ;

Vu l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments ;

Vu l'arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions ;

Vu l'arrêté du 30 avril 2013 portant approbation de la méthode de calcul Th-BCE prévue aux articles 4, 5 et 6 de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments,

Arrêtent :

Article 1^{er}

Conformément à l'article 50 de l'arrêté du 26 octobre 2010 susvisé et à l'article 40 de l'arrêté du 28 décembre 2012 susvisé, le mode de prise en compte des unités autonomes de toiture dans la méthode de calcul Th-BCE 2012, définie par l'arrêté du 30 avril 2013 susvisé, est agréé selon les conditions d'application définies en annexe.

Article 2

Le directeur de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages et le directeur général de l'énergie et du climat sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Bulletin officiel* du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Fait le 28 mars 2014.

Pour la ministre de l'égalité des territoires
et du logement et par délégation :
*La sous-directrice de la qualité
et du développement durable dans la construction,*
K. NARCY

Pour le ministre de l'écologie, du développement durable
et de l'énergie et par délégation :

*La sous-directrice de la qualité
et du développement durable dans la construction,*
K. NARCY

Le directeur général de l'énergie et du climat,
L. MICHEL

ANNEXE

Modalités de prise en compte des « unités autonomes de toiture » dans la réglementation thermique 2012.

1. INTRODUCTION

Le présent titre V système concerne les systèmes dits « unités autonomes de toiture » ou « roof top ». Il s'agit de systèmes de ventilation, de chauffage et de refroidissement monoblocs, à destination des locaux de grand volume (commerce, locaux industriels, salles de cinéma ou de spectacle...). Les unités autonomes de toiture incluent directement des générateurs de chauffage et refroidissement sur l'air soufflé.

Au travers d'un composant extension dynamique, il propose une alternative aux modèles de centrales de traitement d'air prises en compte dans le calcul règlementaire.

Dans la suite du document, les unités autonomes de toiture sont désignées par l'abréviation UAT.

2. DESCRIPTION DES SYSTEMES CONSIDERES

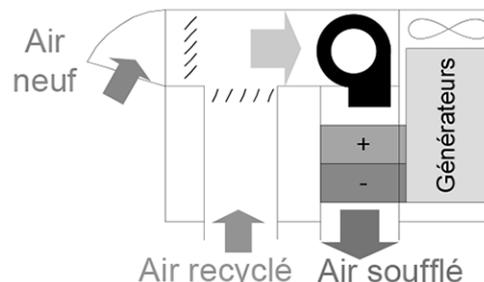
2.1 PRINCIPE GÉNÉRAL

Les UAT entrent dans la catégorie des centrales de traitement d'air (CTA) à une particularité importante près. Une UAT est utilisée pour couvrir les besoins d'un unique local de grand volume (ou éventuellement plusieurs locaux adjacents considérés thermiquement homogènes), au contraire des CTA qui desservent un ensemble de locaux aux charges thermiques différentes.

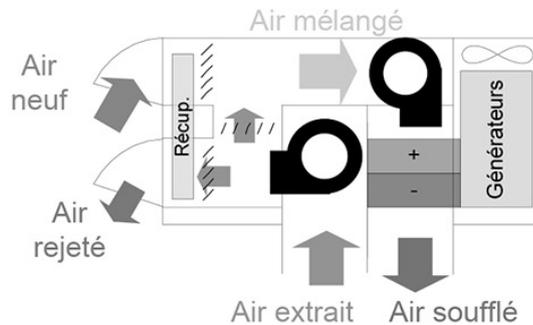
La régulation des débits et températures de fonctionnement de l'UAT peut donc reposer directement sur la charge thermique de ce local unique, au lieu d'une régulation centrale complétée par des régulations terminales. Les UAT sont particulièrement adaptées au traitement des locaux commerciaux (supermarchés et boutiques indépendantes), industriels et de restauration, ainsi qu'aux salles de cinéma et de spectacle. Les UAT sont en général déclinées sur de larges gammes de puissances calorifiques/frigorifiques fournies pouvant aller de 20 à 200 kW.

Trois typologies d'UAT peuvent être distinguées :

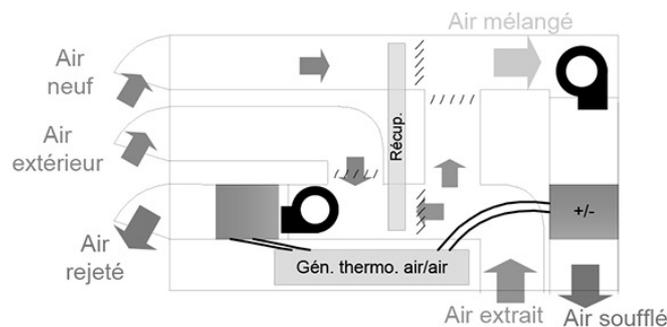
- Les UAT SF comprennent un unique ventilateur et, comme leur nom l'indique, deux volets contrôlant le mélange d'air neuf et d'air recyclé. La régulation joue sur une variation du débit soufflé et du taux d'air neuf de 0 à 100%.



- Les UAT 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. Un récupérateur statique ou à roue est parfois prévu entre l'air neuf et l'air évacué (pouvant être by-passé selon les besoins en préchauffage de l'air neuf).



- 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.



Les UAT peuvent être équipées de n'importe quel bouquet de générateurs prévu par la méthode Th-BCE, ce qui inclut les possibilités suivantes :

- Générateur thermodynamique sur air réversible, avec éventuellement un générateur d'appoint de chauffage sur air à combustion ou à effet joule,
- Générateurs thermodynamiques sur air séparés, avec éventuellement un générateur d'appoint de chauffage sur air à combustion ou à effet joule,
- Refroidisseur sur air et générateur d'air chaud à combustion,
- Refroidisseur sur air et générateur d'air chaud à effet joule,
- Batterie(s) réversibles à eau et générateurs de chauffage/refroidissement vecteur eau associés.

Dans le cadre du titre V, on considèrera que seules les unités directement connectées aux locaux à ventiler, chauffer et refroidir 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.

2.2 NORMES ET REFERENTIELS

Il n'existe pas de normes de caractérisation des performances globales des produits UAT. Les normes par composant s'appliquent.

- Pour l'éventuel récupérateur statique ou à roue, les performances doivent être mesurées selon la norme *NF EN 308 Échangeurs thermiques - Procédures d'essai pour la détermination de la performance des récupérateurs de chaleur air/air et air/gaz*,

- Pour le ou les générateurs thermodynamiques à compression électrique, les performances doivent être mesurées selon les différentes parties de la norme *NF EN 14511 Climatiseurs, groupes refroidisseurs de liquide et pompes à chaleur avec compresseur entraîné par moteur électrique pour le chauffage et la réfrigération des locaux*.

3. CHAMP D'APPLICATION

Le titre V extension dynamique est considéré applicable à tous les types de bâtiments, sauf ceux à usages d'habitation. Le local ou les locaux desservis par un ou plusieurs UAT devront constituer un groupe unique au sens de la méthode Th-BCE.

Le titre V concerne tous les produits répondant à la description faite dans le paragraphe précédent.

4. PROCEDURE D'APPLICATION DU TITRE V

Le présent paragraphe a pour objectif d'expliquer la procédure à suivre pour saisir le titre V. Pour décrire l'UAT dans le calcul réglementaire, il est nécessaire de renseigner les composants suivants :

Bouches-conduits de ventilation

Le système UAT inclut par définition au moins un composant bouches-conduits de soufflage et un composant bouches-conduits de reprise. Dans ces composants, on définit :

- $Q_{v_rep_CH,occ/inocc}$ et $Q_{v_sou_CH,occ/inocc}$ (m^3/h), débits volumiques nominaux en mode actif. Ils sont considérés identiques en chauffage et refroidissement, en occupation et inoccupation.
- $Q_{v_rep_ZN,occ}$ et $Q_{v_sou_ZN,occ}$ (m^3/h), débits volumiques d'air neuf minimaux en zone neutre et en occupation. Dans le cas d'une UAT à débit constant, le taux d'air neuf en occupation représente le rapport du débit « ZN,occ » sur le débit « CH ».
- $Q_{v_rep_ZN,inocc}$ et $Q_{v_sou_ZN,inocc}$ (m^3/h), débits volumiques d'air neuf minimaux en zone neutre et en inoccupation (généralement faibles ou nuls).
- $Q_{spec_rep_raf,noc}$ et $Q_{spec_sou_raf,noc}$ (m^3/h), débits volumiques du mode surventilation nocturne (« free cooling » nocturne). Ces débits correspondent en général aux débits volumiques nominaux lorsque l'UAT prévoit cette fonction.

Le coefficient de dépassement des composants aérauliques C_{dep} est défini par défaut.

Le coefficient C_{rdbnr} de prise en compte de modulation du débit d'air neuf, propre à la ventilation traditionnelle est défini par défaut.

Les propriétés des conduits aérauliques (coefficients de fuites, part en volume chauffé/refroidi) n'ont pas vocation à être renseignées Ils sont sans impact sur le calcul dans le cadre de l'application du titre V.

Dans le cas d'une UAT SF, par convention, on ne définit qu'un seul composant bouches-conduits de reprise, avec des débits volumiques nuls dans tous les modes.

Emetteur(s) de chauffage et de refroidissement/distribution

Dans chaque composant bouches-conduits de soufflage, il est nécessaire de créer un émetteur équivalent de chauffage et de refroidissement, correspondant aux échangeurs entre les générateurs de l'UAT et l'air soufflé (condenseur/évaporateur pour les générateurs thermodynamiques).

Typologie de l'émetteur : 1) Soufflage d'air chaud, d'air froid,

Valeur de variation temporelle: dans le cas d'une variation temporelle certifiée ou justifiée du couple régulation/émission, la renseigner. En l'absence de valeurs certifiée ou justifiée, on retiendra la valeur par défaut d'un couple émetteur/régulateur « permettant l'arrêt total de l'émission » de la méthode Th-BCE.

Classe de variation spatiale : classe B2 en chauffage, classe B en refroidissement.

Catégorie de hauteur sous plafond des locaux desservis : on utilise la valeur moyenne sur l'ensemble des locaux desservis par l'UAT.

On ne définit pas de ventilateurs locaux.

Les distributions du groupe et intergroupes utilisées sont à définir comme réseau de distribution fictif sans pertes. Elles doivent être reliées à la génération contenant le(s) générateur(s) thermodynamique(s) de chauffage et de refroidissement du système DF Th.

Paramétrages de l'extension dynamique T5_CSTB_UAT :

L'extension dynamique décrit une UAT ou une ensemble d'UAT identiques du point de vue de la gestion/régulation agglomérées dans un composant unique. On renseigne :

- Les puissances de ventilateurs absorbées dans les différents modes :
 - o *Pvent_souf/rep_CH (W)*: puissances de ventilateurs de soufflage et de reprise correspondant à un fonctionnement aux débits volumiques nominaux en mode actif,
 - o *Pvent_souf/rep_ZN_occ (W)*: puissances de ventilateurs de soufflage et de reprise correspondant à un fonctionnement aux débits volumiques minimaux en mode zone neutre et en occupation.
 - o *Pvent_souf/rep_ZN_inocc (W)*: puissances de ventilateurs de soufflage et de reprise correspondant à un fonctionnement aux débits volumiques minimaux en mode zone neutre et en inoccupation.
 - o *Pvent_souf/rep_raf,noc (W)*: puissances de ventilateurs de soufflage et de reprise correspondant à un fonctionnement aux débits volumiques de rafraîchissement (« free cooling ») nocturne.
- Les paramètres relatifs à la définition de l'efficacité et de la consommation d'électricité du récupérateur de chaleur statique ou à roue dans les conditions de débits de zone neutre et d'occupation. L'approche, incluant description détaillée ou simplifiée et prise en compte des statuts de donnée selon l'origine de la valeur, est identique à celle des CTA DAC de la méthode Th-BCE.
- L'ensemble des paramètres de gestion/régulation de l'UAT :
 - o Gestion des débits en fonction de la charge thermique ou non,
 - o Températures nominales d'air soufflé en sortie de l'UAT en mode actif chauffage et refroidissement. Ces paramètres ne sont renseignés que pour une gestion des débits en fonction de la charge thermique.
 - o Gestion du bypass et de l'antigel du récupérateur de chaleur statique ou à roue. L'activation du bypass est pilotée par les températures extérieures et intérieures.
 - o Gestion des volets d'air neuf et d'air recyclé, au travers du type de régulation du taux d'air neuf (standard ou optimisé). et des paramètres de températures T_{ENC} et T_{ENF} . Au sens des règles Th-BCE et du présent titre V, le type « standard » correspond à une régulation uniquement en fonction de la température extérieure, et le type « optimisée » à une régulation en fonction de la température extérieure et de la température intérieure.
 - o Gestion du mode de rafraîchissement (« free cooling ») nocturne. Pour plus d'information, on se réfèrera au paragraphe « 8.12 C_Ven_Fonctions de rafraîchissement nocturne des systèmes de ventilation » des règles Th-BCE.

Générateurs de chauffage/refroidissement :

Pour les générateurs thermodynamiques, la modélisation des UAT reposent sur les types « PAC air extérieur/air recyclé », « Refroidisseur air extérieur/air recyclé » ou « Machine réversible air extérieur/air recyclé ». Ce choix est valable y compris en 4 volets, étant donné les points de fonctionnement usuellement rencontrés. Les performances des générateurs thermodynamiques doivent prendre en compte les consommations des compresseurs et des auxiliaires côté source air extérieur. La consommation et l'impact thermique des ventilateurs de soufflage et de reprise doivent être exclus

Les brûleurs au gaz sur air soufflé sont modélisés au travers du type « Générateur d'air chaud gaz ».

Pour les alternatives à plusieurs générateurs en chauffage, il est possible d'employer les configurations base et appoint via le type de priorité « générateurs en cascade » et système thermodynamique/brûleur gaz en alternés via « générateurs alternés » au niveau de la génération.

Source amont :

Dans le cas d'une UAT avec générateurs thermodynamiques de chauffage/refroidissement (ou réversible), il convient de créer deux sources amonts différentes : une pour le chauffage et une pour le refroidissement.

Dans les cas des UAT 2 et 3 volets, les composants source amont utilisés en association avec les générateurs thermodynamiques de chauffage et/ou de refroidissement sont de type « 1 : air extérieur ».

Dans le cas des UAT 4 volets, les composants source amont utilisés en association avec les générateurs thermodynamiques de chauffage et/ou de refroidissement sont de type « 3 : air extrait ». Ils doivent pointer vers le composant extension dynamique du titre V (TV_CSTB_UAT).

La puissance de ventilateur P_{vent_Gaine} est définie nulle.

Pour le mode chauffage, la température limite d'air rejeté θ_{air_lim} intervient si la régulation du système prévoit une limitation de la température d'air rejeté pour éviter l'apparition du gel. Si tel est le cas, la valeur annoncée par le fabricant est utilisée. Dans le reste des cas, une valeur de -99°C sera adoptée. Pour la source amont correspondant au mode refroidissement, une valeur θ_{air_lim} de 99°C sera adoptée.

5. METHODE DE PRISE EN COMPTE DANS LES CALCULS POUR LA PARTIE NON DIRECTEMENT MODELISABLE : FICHE ALGORITHME

5.1 INTRODUCTION

Les unités autonomes de toiture simple flux (noté UAT SF par la suite) ou double-flux (noté UAT DF par la suite), ou Roof-Top 2, 3 ou 4 volets, s'apparentent à des CTA mono-gaine desservant un groupe (généralement de grand volume) considéré comme thermiquement homogène.

Les UAT DF 3 ou 4 volets comprennent un ventilateur de reprise et un ventilateur de soufflage. Les UAT SF (2 volets) comprennent un ventilateur de soufflage seulement.

Outre la fonction ventilation, les UAT assurent également le chauffage et le refroidissement du bâtiment, sur la base d'une régulation fonction de l'occupation ou de la charge thermique du bâtiment. Elles incluent généralement un recyclage de l'air intérieur pour limiter les consommations.

Les UAT DF peuvent également intégrer un récupérateur statique air neuf/air rejeté.

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).

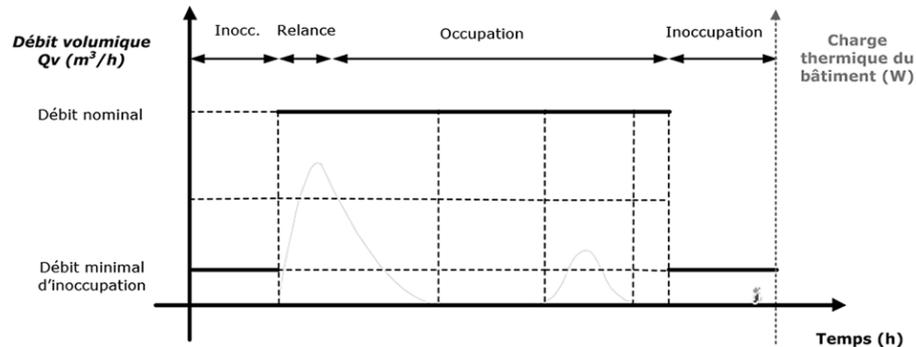


Figure 1: illustration de la régulation à débit constant non-fonction de la charge thermique

- 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).

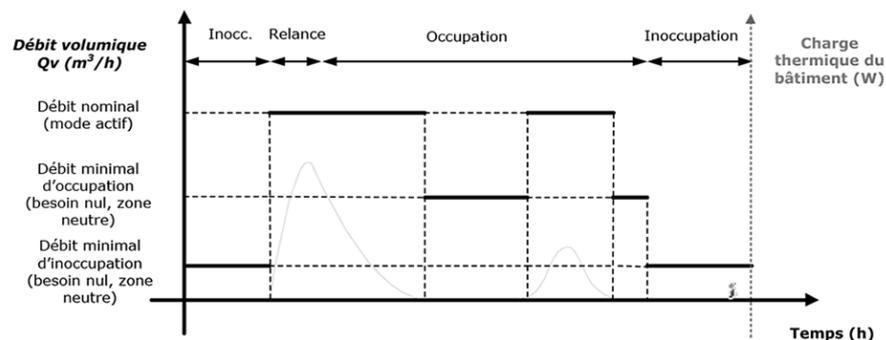


Figure 2: illustration de la régulation d'une UAT à deux débits en fonction de la charge thermique

5.2 NOMENCLATURE

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

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

$q_{repZN,cond}^{g,s}(h)$ $q_{souZN,cond}^{g,s}(h)$	Débites 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
$q_{repCH,cond}^{g,s}(h)$ $q_{souCH,cond}^{g,s}(h)$	Débites 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
	$Dugd^{g,s}$	Durée d'utilisation du grand débit au niveau de la bouche/conduit g,s par semaine type.	h/sem	0	16 8
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	$+\infty$
	Bypass de l'échangeur	$\theta_{ext,bypass,hiver}$ $\theta_{ext,bypass,été}$	Température extérieure de consigne au-dessus de laquelle l'échangeur peut être bypassé en période de chauffage et le reste de l'année.	$^{\circ}C$	$-\infty$
$\theta_{int,bypass,hiver}$ $\theta_{int,bypass,été}$		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 de l'UAT	θ_{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
	θ_{sou,nom_froid}	Température nominale d'air soufflé en refroidissement (au débit nominal et à puissance maximale de fonctionnement des générateurs).	$^{\circ}C$	5	20
	θ_{ENC} θ_{ENF}	Plage de température de fonctionnement de UAT DF en tout air neuf.	$^{\circ}C$	$-\infty$	$+\infty$

θ_{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
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	
	\mathcal{E}_{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_{s_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	$+\infty$	
	$i_{s_antigel}$	Sécurité antigel de l'échangeur : <i>0 : absence d'antigel,</i> <i>1 : présence d'un antigel.</i>	-	0	1	
	$\theta_{s,ech,rep,LIM}$	Température limite basse de sortie coté rejet de l'échangeur (fonction antigel)	°C	-10	10	
	$id_{type_UAT\ DF}$	Type de l'unité de toiture : <i>1 : 3 volets</i> <i>2 : 4 volets</i>	-	0	2	
$id_{regulation_debit}$	Type de régulation du débit de l'unité de toiture : <i>0 : débit constant non-régulé en fonction de la charge thermique,</i> <i>1 : débit variable en fonction de la charge thermique.</i>	-	0	1		
$Type_regul_AN$	Mode de fonctionnement en cycle économiseur : <i>0) régulation standard</i> <i>1) régulation optimisée</i>	-	0	1	-	

Sorties			
Nom	Description	Unité	
Avant calcul des besoin (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 g,s .	m^3/h
	$\theta_{air_souffle}^{g,s}(h)$	Température de l'air soufflé pour le composant bouches-conduits g,s .	$^{\circ}C$
	$\omega_{air_souffle}^{g,s}(h)$	Humidité de l'air soufflé	kg/kg as
	$\rho_{air_souffle}^{g,s}(h)$	Masse volumique de l'air soufflé	kg/m^3
	$W_{vent}(h)$	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
	$W_{chaud,ag}(h)$	Consommations électriques liées à la sécurité antigél	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
Après calcul des besoins (modélisation des systèmes CVC)	$\theta_{air_souffle(rec.)}^{g,s}(h)$	Température d'air soufflé en amont de l'ensemble bouche/conduit de soufflage s du groupe gr .	$^{\circ}C$
	$q_{m,sou_spec(rec.)}^{g,s}(h)$	Débit massique d'air soufflé de l'ensemble bouche/conduit de soufflage s du groupe gr .	kg/s
	$\theta_{air_extrait(rec.)}(h)$	Température de l'air rejeté par la centrale, température utilisée pour les machines thermodynamiques sur air extrait.	$^{\circ}C$
	$q_{m_air_extrait(rec.)}(h)$	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 antigél.	Wh
	$Taux_{AN(rec)}(h)$	Taux d'air neuf du système au pas de temps h.	Réel
	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^2	
$H_{cond,rep,ext}^{g,s}$ $H_{cond,souf,ext}^{g,s}$	Conductivité thermique du conduit de reprise et de soufflage sur leur partie hors volume chauffé	W/K	

Propriétés des fluides	$T_{inc}^{g,s}(h)$	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
	$i_{rafnocc_activé}(h)$	Statut effectif du rafraîchissement 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
	$\theta_{extr2}(h)$	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/kg as	
$\omega_{souf,mel}(h)$	Humidité de l'air soufflé après la boîte de mélange	kg/kg as	

Variables internes de débits	$\theta_{soutf_CH/FR}(h)$	Température de l'air soufflé à l'emplacement de l'étape de chauffage / refroidissement	°C
	$\omega_{soutf_CH/FR}(h)$	Humidité spécifique de l'air soufflé au niveau de l'étape de chauffage / refroidissement	kg/kg as
	$D\omega(h)$	Variation d'humidité de l'air soufflé entre avant et après l'étape de refroidissement	kg/kg as
	$\omega_{sat}(h)$	Humidité spécifique à saturation pour l'air soufflé à la température de surface du refroidisseur	kg/kg as
	$\theta_{air_souffle}(h)$	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/kg as
	$P_{vent,rep}(h)$ $P_{vent,sou}(h)$	Puissances des ventilateurs de reprise et de soufflage au pas de temps h	W
	$q_{m,rep,cond}(h)$ $q_{m,sou,cond}(h)$	Débits massiques repris et soufflé en intégrant les fuites aérauliques, recalculés au pas de temps h.	kg/s
	$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h)$ $q_{m,sou,spec}^{g,s}(h)$	Débit massique soufflé en intégrant les fuites aérauliques en volume chauffé pour le composant bouches-conduits g,s	kg/s
	$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h)$ $q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)$	Débit massique soufflé en intégrant les fuites aérauliques pour le composant bouches-conduits g,s.	kg/s
	$q_{m,air\ neuf}(h)$	Débit massique d'air neuf soufflé	kg/s
	$\delta_{bypass}(h)$	Indicateur d'activation du by-pass de l'échangeur statique.	-
	$\theta_{e,ech,min}(h)$	Température d'air neuf de déclenchement de l'antigel	°C
	Echangeur statique	$\varepsilon(h)$	Efficacité de l'échangeur au pas de temps h.
$C_{air_repris}(h)$ $C_{air_neuf}(h)$		Débit capacitif de l'air repris et de l'air neuf (pour la caractérisation des performances de l'échangeur)	W/K
$C(h)$		Rapport du débit capacitif minimal au débit maximal des deux-fluides de l'échangeur	-
$NUT(h)$		Nombre d'unités de transfert de l'échangeur	-
$C_{air_rejeté}(h)$		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
ρ_{ref}	Masse volumique de l'air de référence	kg/m ³	1,2
θ_{ref}	Température d'air correspondant à la masse volumique de l'air de référence	°C	20
PeI	Rendement des ventilateurs	-	0,8
$\epsilon_{utile\ max}$	Efficacité maximale de l'échangeur en l'absence de valeurs certifiées ou justifiées	-	0,5

Tableau 1 : Nomenclature du modèle

5.3 DESCRIPTION MATHÉMATIQUE

5.3.1 PRINCIPE

5.3.1.1 Décomposition en sous-composants

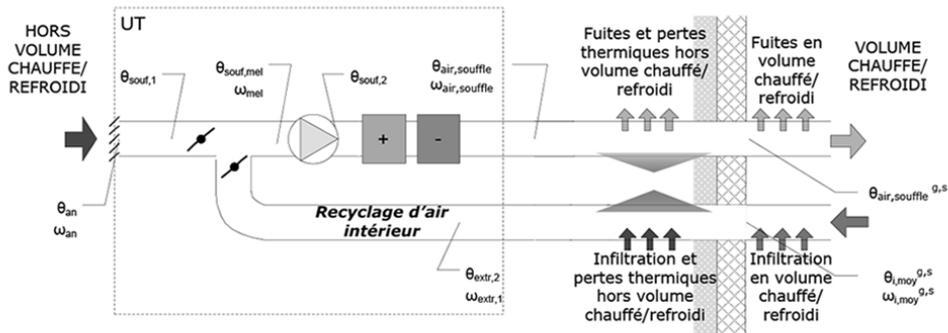


Figure 3: Représentation équivalente d'UAT SF

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.

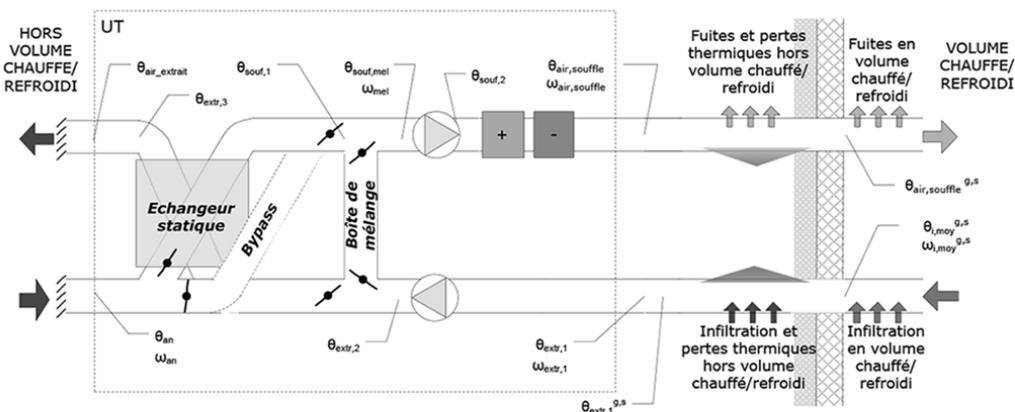


Figure 4: Représentation équivalente d'UAT 3 volets

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 / de refroidissement.
- boîte de mélange air rejeté/air neuf (4^{ème} volet).

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 un espace tampon solarisé est considérée impossible.

Les UAT ne comprennent pas d'humidification de l'air soufflé.

5.3.1.2 Gestion des débits

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.

5.3.2 PREPROCESSEUR

5.3.2.1 Test de cohérence

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. »

5.3.2.2 Débits de fuite et pertes thermiques des conduits aérauliques

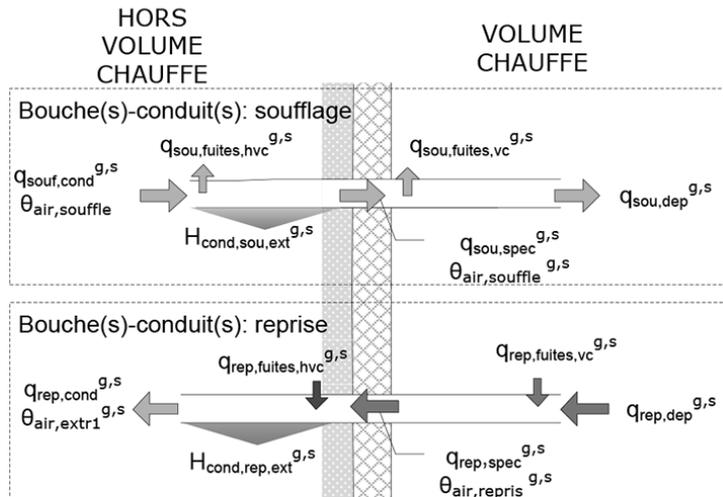


Figure 5: rappel des notations de débits et températures au niveau des bouches-conduits

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

$$q_{sou,fuites,vc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (1)$$

$$q_{rep,fuites,vc}^{g,s} = 0 \text{ (m}^3\text{/h)} \quad (1)$$

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

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

$$A_{cond,sou,ext}^{g,s} = 0 \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

$$A_{cond,rep,ext}^{g,s} = 0 \text{ (m}^2\text{)} \quad (3)$$

$$H_{cond,souf,ext}^{g,s} = 0 \text{ (W/K)} \quad (4)$$

$$H_{cond,rep,ext}^{g,s} = 0 \text{ (W/K)} \quad (4)$$

5.3.2.3 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 ε_t 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,

$$\varepsilon_i = 0,9 \times \varepsilon_i \quad (5)$$

- **Statut déclaré ($id_{statut_echangeur_ch} = 0$ / $id_{statut_echangeur_fr} = 0$):** la valeur est simplement déclarée par le fabricant :

$$\varepsilon_t = MIN(0,8 \times \varepsilon_t; \varepsilon_{utile_max}) \quad (6)$$

5.3.3 DEROULEMENT 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.
- 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 en prenant en compte la charge thermique du groupe.

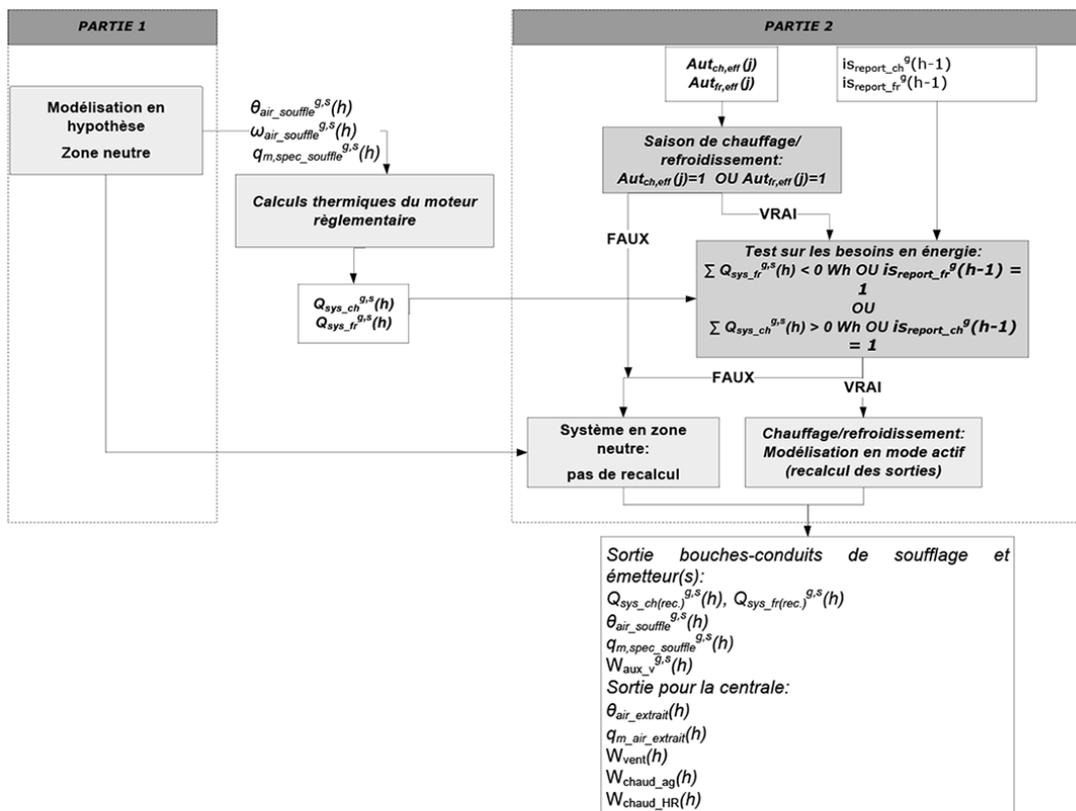


Figure 6: organisation générale du calcul

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

5.3.4 MODELISATION DE L'UAT EN ZONE NEUTRE (CHAUFFAGE ET REFROIDISSEMENT DESACTIVES)

La modélisation de l'UAT en zone 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 :

$$\rho_{i,fin}^g(h-1) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{i,fin}^g(h-1))} \quad (7)$$

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 :

$$\begin{aligned} \theta_{an}(h) &= \theta_{ext}(h) \\ \rho_{an}(h) &= \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{an}(h))} \end{aligned} \quad (8)$$

Prise en compte du mode rafraîchissement (ou « free cooling ») nocturne

La gestion/régulation du rafraîchissement 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 rafraîchissement nocturne des systèmes de ventilation ». Le calcul de l'indicateur de déclenchement du rafraîchissement nocturne au pas de temps horaire $i_{rafinocc_activé}(h)$ est reproduit à l'identique.

Débits massiques soufflés

En mode rafraîchissement nocturne ($i_{rafinocc_activé}(h) = 1$):

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou_raf,noc_cond}^{g,s} \quad (9)$$

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 ($i_{svent}(h) = 1$) :

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air_souffle}^{g,s}(h-1) \cdot q_{souCH_cond}^{g,s}(h) \quad (10)$$

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

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

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.

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

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

$$q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) = MAX \left(0; q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{air_souffle}^{g,s} (h-1) \cdot q_{sou,fiutes,hvc}^{g,s} \right) \quad (13)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \quad (14)$$

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

Débit massique d'air neuf

En mode rafraîchissement nocturne ($i_{rafinocc_activé}(h) = 1$):

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (16)$$

Sinon, l'algorithme est le suivant.

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

$$q_{m,air_neuf_min}(h) = \frac{1}{3600} \sum_{g,s \in S} \rho_{air_souffle}^{g,s} (h-1) \cdot q_{souZN_cond}^{g,s}(h) \quad (17)$$

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,

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,air_neuf_min}(h) \quad (18)$$

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

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,air_neuf_min}(h) + (q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf_min}(h)) \times \frac{\theta_{an}(h) - T_{ENC}}{T_{ENF} - T_{ENC}} \quad (19)$$

Sinon,

Cas Type_{regul_AN} = « 0 » Régulation standard » (par défaut) : dans ce cas, le taux d'air neuf est toujours minimal en mode refroidissement, il est calculé de la façon suivante :

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,air_neuf_min}(h) \quad (20)$$

Cas Type_{regul_AN} = « 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 :

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (21)$$

Sinon,

$$q_{m,air_neuf}(h) = q_{m,air_neuf_min}(h) \quad (22)$$

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

$$Taux_{AN}(h) = \frac{q_{m,air_neuf}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (23)$$

Débits massiques d'air repris (UAT SF)

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

$$q_{m,rep,cond}(h) = q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf}(h) \quad (24)$$

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (25)$$

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

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

$$q_{m,rep,spec}(h) = \text{MIN} \left(0; q_{m,rep,cond}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{an}(h) \times q_{rep,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (26)$$

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

Sinon,

$$q_{m,rep,spec}(h) = 0 \quad (\text{kg/s}) \quad (27)$$

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

Débits massiques d'air repris (UAT DF)

En mode rafraîchissement nocturne ($i_{rafinocc_activé}(h) = 1$):

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{rep_raf,noc_cond}^{g,s} \quad (28)$$

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 ($i_{svent}(h) = 1$) :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repCH_cond}^{g,s}(h) \quad (29)$$

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

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repZN_cond}^{g,s}(h) \quad (30)$$

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.

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g (h-1) \cdot q_{repZN_cond}^{g,s}(h) \quad (31)$$

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

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = MIN \left(0; q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{an}(h) \cdot q_{rep,fiutes,hvc}^{g,s} \right) \quad (32)$$

Soit ramenée au niveau de l'UAT :

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \quad (33)$$

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,

$$q_{m,rep,cond}(h) = MIN(q_{m,rep,cond}(h); q_{m,air_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (34)$$

$$q_{m,air_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) - (q_{m,air_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (35)$$

Sinon,

$$q_{m,air_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (36)$$

Puissances et consommations des ventilateurs

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

En mode rafraîchissement nocturne ($i_{rafinocc_activé}(h) = 1$):

$$\begin{aligned} P_{vent_rep}(h) &= P_{vent_rep_raf,noc} \\ P_{vent_sou}(h) &= P_{vent_rep_raf,noc} \end{aligned} \quad (37)$$

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 ($is_{relance}(h) = 1$) :

$$\begin{aligned} P_{vent_rep}(h) &= P_{vent_rep_CH} \\ P_{vent_sou}(h) &= P_{vent_sou_CH} \end{aligned} \quad (38)$$

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

$$\begin{aligned} P_{vent_rep}(h) &= P_{vent_rep_ZN_inocc} \\ P_{vent_sou}(h) &= P_{vent_sou_ZN_inocc} \end{aligned} \quad (39)$$

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

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

$$\begin{aligned} P_{vent_rep}(h) &= P_{vent_rep_ZN_occ} \\ P_{vent_sou}(h) &= P_{vent_sou_ZN_occ} \end{aligned} \quad (40)$$

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

$$\begin{aligned} P_{vent_rep}(h) &= P_{vent_rep_ZN_inocc} \\ P_{vent_sou}(h) &= P_{vent_sou_ZN_inocc} \end{aligned} \quad (41)$$

Températures et humidité de l'air repris

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

$$T_{Lnc}^{g,s}(h) = (1 - b_{thermique}^{et}(h)) \times \theta_{i,fin}^g(h-1) + b_{thermique}^{et}(h) \times \theta_{ext}(h) \quad (42)$$

$$\theta_{icond}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) \times \theta_{i,fin}^g(h-1) + (q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - q_{m,rep,spec}^{g,s}(h)) \times T_{Lnc}^{g,s}(h)}{q_{m,rep,cond}^{g,s}(h)} \quad (43)$$

$$\theta_{extr1}^{g,s}(h) = \theta_{icond}^{g,s}(h) - (\theta_{icond}^{g,s}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{H_{cond,rep,ext}^{g,s}}{C_{pa} \times q_{m,rep,cond}(h)}\right) \right) \quad (44)$$

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

$$\theta_{extr1}(h) = \frac{\sum (\theta_{extr1}^{g,s}(h) \times q_{m,rep,cond}^{g,s}(h))}{q_{m,rep,cond}(h)} \quad (45)$$

$$\theta_{extr2}(h) = \theta_{extr1}(h) + \frac{pel \times P_{vent_rep}(h)}{C_{pa} \times q_{m,rep,cond}(h)} \quad (46)$$

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

$$\omega_{extr}(h) = \omega_{i,fin}^g(h-1) \quad (47)$$

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

En mode rafraîchissement nocturne ($i_{rafinoocc_activé}(h) = 1$):

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (48)$$

Sinon, trois conditions doivent être respectées simultanément :

- la température extérieure est inférieure à la température intérieure, $\theta_{i,fin}^s$, (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,

$$\delta_{bypass}(h) = 1 \quad (49)$$

Sinon,

$$\delta_{bypass}(h) = 0 \quad (50)$$

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

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

$$\varepsilon(h) = 0 \quad (51)$$

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

Sinon,

$$W_{ech}(h) = P_{ech} \quad (52)$$

Cas : $id_{niveau_détail_échangeur} = 0$: prise en compte détaillée de l'échangeur

$$C_{air_rejeté}(h) = C_{pa} \times q_{m,air_extraî}(h)$$

$$C_{air_neuf}(h) = C_{pa} \times q_{m,air_neuf}(h)$$

$$C(h) = \frac{\min(C_{air_neuf}(h); C_{air_rejeté}(h))}{\max(C_{air_neuf}(h); C_{air_rejeté}(h))} \quad (53)$$

$$NUT(h) = \frac{UA}{\min(C_{air_neuf}(h); C_{air_rejeté}(h))} \quad (54)$$

Cas $id_{type_échangeur} = 1$: écoulements à contre-courant

Si $C(h) = 1$, alors :

$$\varepsilon(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h) + 1} \quad (55)$$

Sinon

$$\varepsilon(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h)(1-C(h))}}{1 - C(h).e^{-NUT(h)(1-C(h))}} \quad (56)$$

Cas $id_{type_échangeur} = 2$: écoulements à courants parallèles

$$\varepsilon(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h)(1+C(h))}}{1 + C(h)} \quad (57)$$

Cas id_{type_echangeur} = 3 : écoulements à courants croisés avec les deux fluides brassés

$$\varepsilon(h) = \frac{1}{\frac{1}{1 - e^{-NUT(h)}} + \frac{C(h)}{1 - e^{-NUT(h) \cdot C(h)}} - \frac{1}{NUT(h)}} \quad (58)$$

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

$$\varepsilon(h) = \frac{\text{MIN}(C_{\text{air_neuf}}(h); C_{\text{air_rejeté}}(h))}{C_{\text{air_neuf}}(h)} \times \varepsilon(h) \quad (59)$$

Cas : id_{niveau_détail_echangeur} = 1 : prise en compte simplifiée de l'échangeur

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

$$\varepsilon(h) = \varepsilon_i \quad (60)$$

Prise en compte la fonction antigel ($i_{s_{antigel}} = 1$) (UAT DF) :

Si $Aut_{ch,eff}(j)=1$ et $\varepsilon(h) > 0$, alors :

On calcule dans un premier 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 5.3.3). La température $\theta_{extr2}(h)$ a cependant été recalculée en intégrant l'activation de la fonction chauffage.

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) - \varepsilon(h) \cdot (\theta_{extr2}(h) - \theta_{an}(h)) \quad (61)$$

$$\theta_{ech,min}(h) = \theta_{extr3}(h) + \frac{(\theta_{sec} h_{repLIM} - \theta_{extr3}(h))}{\varepsilon(h)} \quad (62)$$

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

$$\theta_{souf,ag}(h) = \text{MAX}(\theta_{AN}(h); \theta_{ech,min}(h)) \quad (63)$$

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

$$W_{chaud_ag}(h) = q_{m,air_neuf}(h) \times C_{pa} \times \text{MAX}(0; \theta_{souf,ag}(h) - \theta_{AN}(h)) \quad (64)$$

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

$$\theta_{souf,ag}(h) = \theta_{AN}(h) \quad (65)$$

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

$$\theta_{souf1}(h) = \theta_{souf,ag}(h) + \varepsilon(h) \cdot (\theta_{extr2}(h) - \theta_{souf,ag}(h)) \quad (66)$$

$$\theta_{extr3}(h) = \theta_{extr2}(h) - \varepsilon(h) \cdot (\theta_{extr2}(h) - \theta_{souf,ag}(h)) \quad (67)$$

Prise en compte de la boîte de mélange :

$$\theta_{souv,mel}(h) = \frac{(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf}(h))\theta_{extr2}(h) + q_{m,air_neuf}(h).\theta_{souv1}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (68)$$

Température d'air rejeté (UAT DF) :

$$\theta_{air_extrait}(h) = \theta_{extr3}(h) \quad (69)$$

Prise en compte du ventilateur de soufflage:

$$\theta_{souv2}(h) = \theta_{souv,mel}(h) + \frac{pel \times P_{vent_sou}(h)}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}(h)} \quad (70)$$

Température d'air soufflé :

$$\theta_{air_soufflé}(h) = \theta_{souv2}(h) \quad (71)$$

L'humidité de l'air soufflé est reprise du pas de temps précédent :

$$\omega_{air_soufflé}(h) = \omega_{air_soufflé}(h-1) \quad (72)$$

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

$$\theta_{air_soufflé}^{g,s}(h) = \theta_{air_soufflé}(h) - (\theta_{air_soufflé}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times \left(1 - \exp\left(-\frac{H_{cond,souv,ext}^{g,s}}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}\right) \right) \quad (73)$$

$$\omega_{air_soufflé}^{g,s}(h) = \omega_{air_soufflé}(h) \quad (74)$$

$$\rho_{air_soufflé}^{g,s}(h) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{air_soufflé}^{g,s}(h))} \quad (75)$$

Consommation de ventilateurs :

$$W_{vent}(h) = P_{vent_rep}(h) + P_{vent_souv}(h) \quad (76)$$

$$W_{aux_v}^{g,s}(h) = \frac{W_{vent}(h) \times q_{m,sou_spec}^{g,s}(h)}{q_{m,sou_spec}(h)} \quad (77)$$

5.3.5 MODELISATION DE L'UAT EN MODE ACTIF : CHAUFFAGE OU REFROIDISSEMENT ACTIVE

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.

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 :

$$P_{ZN}(h) = \sum_{g,s} (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf,mel}(h)) q_{m,sou_spec}^{g,s}(h) (\theta_{air_soufflé}^{g,s}(h) - \theta_{i,moy}^g(h)) \quad (78)$$

Air neuf et air repris

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

$$\rho_{i,moy}^g(h) = \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{i,moy}^g(h))} \quad (79)$$

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 :

$$\begin{aligned} \theta_{an}(h) &= \theta_{ext}(h) \\ \rho_{an}^g(h) &= \frac{\rho_{ref} \cdot (273 + \theta_{ref})}{(273 + \theta_{an}(h))} \end{aligned} \quad (80)$$

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 :

$$q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{air_soufflé}^{g,s}(h) \cdot q_{souCH_cond}^{g,s}(h) \quad (81)$$

Le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) = MAX \left(0; q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{air_soufflé}^{g,s}(h-1) \cdot q_{sou,fuites,hvc}^{g,s} \right) \quad (82)$$

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

$$q_{m,sou,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \quad (83)$$

$$q_{m,sou,spec}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,sou,spec}^{g,s}(h) \quad (84)$$

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 :

$$q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) = \frac{1}{3600} \rho_{i,moy}^g(h) \cdot q_{repCH_cond}^{g,s}(h) \quad (85)$$

Le débit massique ramené aux bouches est le suivant :

$$q_{m,rep,spec}^{g,s}(h) = MIN \left(0; q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) - \frac{1}{3600} \rho_{i,fin}^g(h-1) \cdot q_{rep,fiutes,hvc}^{g,s} \right) \quad (86)$$

Du point de vue de UAT DF, cela donne :

$$q_{m,rep,cond}(h) = \sum_{g,s \in S} q_{m,rep,cond}^{g,s}(h) \quad (87)$$

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 considèrera que le débit massique total rejeté dans ce cas de figure est égal au débit massique total soufflé.

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

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

$$q_{m,rep,cond}(h) = MIN(q_{m,rep,cond}(h); q_{m,air_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (88)$$

$$q_{m,air_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) - (q_{m,air_neuf}(h) - q_{m,sou,cond}(h)) \quad (89)$$

Sinon,

$$q_{m,air_extrait}(h) = q_{m,rep,cond}(h) \quad (90)$$

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

$$q_{m,air_extrait}(h) = q_{m,sou,cond}(h) \quad (91)$$

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.

$$P_{vent_rep}(h) = P_{vent_rep_CH}$$

$$P_{vent_sou}(h) = P_{vent_sou_CH}$$
(92)

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 ($i_{s_antigel} = 1$) (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 $\theta_{souf,1}(h)$ et $\theta_{extr3}(h)$ (recalculées 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 en ce qui concerne la température $\theta_{souf,mel}(h)$. On procède de manière identique pour l'humidité spécifique en sortie de la boîte de mélange $\omega_{souf,mel}(h)$.

$$\omega_{souf,mel}(h) = \frac{(q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf}(h))\omega_{extr}(h) + q_{m,air_neuf}(h)\omega_{an}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)}$$
(93)

Température d'air rejeté (UAT DF) :

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

Cas « $i_{d_type\ UAT\ DF} = 1$) UAT DF 3 volets » :

$$\theta_{air_extrait}(h) = \theta_{extr3}(h)$$
(94)

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

La température d'air rejeté est donc la suivante :

$$\theta_{air_extrait}(h) = \frac{1}{|q_{m,air_extrait}(h)|} \times \left[\left(|q_{m,air_extrait}(h)| - \left(|q_{m,rep,cond}(h)| - (q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf}(h)) \right) \right) \theta_{AN}(h) + \left(|q_{m,rep,cond}(h)| - (q_{m,sou,cond}(h) - q_{m,air_neuf}(h)) \right) \theta_{extr3}(h) \right] \quad (95)$$

Prise en compte du ventilateur de soufflage:

$$\theta_{souf2}(h) = \theta_{souf,mel}(h) + \frac{pel \times P_{vent_sou}(h)}{C_{pa} \times q_{m,sou,cond}(h)} \quad (96)$$

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% :

$$\tau_{CH/FR}(h) = 1 \quad (97)$$

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

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^g(h) + \frac{Q_{sys_ch}(h) + P_{ZN}(h)}{(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf_mel}(h)) \times q_{m,sou_spec}(h)} \quad (98)$$

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

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{i,moy}^g(h) + \frac{Q_{sys_fr}(h) + P_{ZN}(h)}{(C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf_mel}(h)) \times q_{m,sou_spec}(h)} \quad (99)$$

Cas $id_{regulation_debit} = 1$) 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 ($Q_{sys_ch}(h) > 0$ Wh) :

$$\theta_{sou,bouches}(h) = \theta_{sou_nom_chaud} \quad (100)$$

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 :

$$P_{sys_CH/FR_max}(h) = (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf_mel}(h)) \times q_{m,sou_spec}(h) \times (\theta_{sou,bouches}(h) - \theta_{i,moy}^g(h)) - P_{ZN}(h) \quad (101)$$

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

$$\tau_{CH/FR}(h) = \text{MIN} \left(1; \frac{Q_{\text{sys_ch}}(h)}{P_{\text{sys_CH/FR_max}}(h)} \right) \quad (102)$$

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

$$\text{Si } i_{s_{\text{report_ch}}}^g(h-1) = 1 \text{ OU } i_{s_{\text{report_fr}}}^g(h-1) = 1, \text{ alors,} \quad (103)$$

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

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 (98).

Refroidissement de l'air ($Q_{\text{sys_fr}}(h) < 0$ 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 :

$$\exp H^{g,s}(h) = \exp \left(- \frac{H_{\text{cond,souf,ext}}^{g,s}}{C_{pa} \cdot q_{m,\text{sou,cond}}^{g,s}(h)} \right) \quad (104)$$

$$\theta_{\text{sou,bouches}}(h) = \frac{\sum_{g,s} \left[q_{m,\text{sou,cond}}^{g,s}(h) \times (\theta_{\text{souf}_2}(h) - (\theta_{\text{souf}_2}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h)) \times (1 - \exp H^{g,s}(h))) \right]}{q_{m,\text{sou,cond}}(h)} \quad (105)$$

$$\theta_{\text{sou,bouches}}(h) = \text{MIN}(\theta_{\text{sou_nom_froid}}; \theta_{\text{sou,bouches}}(h)) \quad (106)$$

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

$$P_{\text{sys_CH/FR_max}}(h) = (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{\text{souf_mel}}(h)) \times q_{m,\text{sou,spec}}(h) \times (\theta_{\text{sou,bouches}}(h) - \theta_{i,\text{moy}}^g(h)) + P_{ZN}(h) \quad (107)$$

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.

$$\tau_{CH/FR}(h) = \text{MIN} \left(1; \frac{Q_{\text{sys_fr}}(h)}{P_{\text{sys_CH/FR_max}}(h)} \right) \quad (108)$$

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 (99).

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 :

$$\theta_{air_souffle}(h) = \frac{\sum_{g,s} \left[q_{m,sou,cond}^{g,s}(h) \times \frac{(\theta_{sou,bouches}(h) - T_{Lnc}^{g,s}(h) \times (1 - \exp H^{g,s}(h)))}{\exp H^{g,s}(h)} \right]}{q_{m,sou,cond}(h)} \quad (109)$$

$\exp H^{g,s}(h)$ est calculé selon la relation (104).

Prise en compte du chauffage/refroidissement

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

$$\theta_{souf_CH/FR}(h) = \theta_{air_souffle}(h) \quad (110)$$

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 :

$$Q_{sys_ch}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf_mel}(h)) \times q_{m,sou,cond}(h) \times (\theta_{souf_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)) \quad (111)$$

$$Q_{sys_ch}(h) = MAX(0; Q_{sys_ch}(h)) \quad (112)$$

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 :

$$Q_{sys_fr}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (C_{pa} + C_{pv} \times \omega_{souf_mel}(h)) \times q_{m,sou,cond}(h) \times (\theta_{souf_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)) \quad (113)$$

$$Q_{sys_fr}(h) = MIN(0; Q_{sys_fr}(h)) \quad (114)$$

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 BP 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 BP 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 :

$$\theta_{batt}(h) = MAX\left(9^{\circ}C; \theta_{souf2}(h) + \frac{\theta_{souf_CH/FR}(h) - \theta_{souf2}(h)}{1 - BP}\right) \quad (115)$$

$$\omega_{sat}(h) = 10^{-3} \times \exp\left(18.8161 - \frac{4110.34}{\theta_{batt}(h) + 235.0}\right) \quad (116)$$

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

$$Dw(h) = \text{MIN}(\omega_{sat}(h) - \omega_{souf,me1}(h); 0) \times (1 - BP) \quad (117)$$

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

$$\omega_{souf_CH/FR}(h) = \omega_{souf,me1}(h) + Dw(h) \quad (118)$$

La 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 :

$$Q_{sys_lat_fr}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \times q_{m,sou,cond}(h) \times L \times Dw(h) \quad (119)$$

$$Q_{sys_fr(rec.)}(h) = Q_{sys_fr(rec.)}(h) + Q_{sys_lat_fr}(h) \quad (120)$$

Sinon (besoin de refroidissement recalculé nul),

$$\omega_{souf_CH/FR}(h) = \omega_{souf,me1}(h) \quad (121)$$

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

$$Q_{sys_ch}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \times Q_{sys_ch}(h) \quad (122)$$

$$Q_{sys_fr}^{g,s}(h) = \frac{q_{m,sou,cond}^{g,s}(h)}{q_{m,sou,cond}(h)} \times Q_{sys_fr}(h) \quad (123)$$

Température et humidité de l'air soufflé :

La température de l'air au niveau des bouches, notée $\theta_{air_soufflé}^{g,s}(h)$, 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 :

$$\theta_{air_soufflé}^{g,s}(h) = \theta_{souf2}(h) \quad (124)$$

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 :

$$\omega_{air_soufflé}(h) = \omega_{souf_CH/FR}(h) \quad (125)$$

$$\omega_{air_soufflé}^{g,s}(h) = \omega_{air_soufflé}(h) \quad (126)$$

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 :

$$W_{vent(rec.)}(h) = \tau_{CH/FR}(h) \cdot (P_{vent_rep}(h) + P_{vent_souf}(h)) + (1 - \tau_{CH/FR}(h)) W_{vent}(h) \quad (127)$$

$$W_{aux_V}^{g,s}(h) = \frac{W_{vent}(h) \times q_{m,sou_spec}^{g,s}(h)}{q_{m,sou_spec}(h)} \quad (128)$$