

## AMÉNAGEMENT NATURE, LOGEMENT

MINISTÈRE DU LOGEMENT,  
DE L'ÉGALITÉ DES TERRITOIRES  
ET DE LA RURALITÉ

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

### **Arrêté du 28 juillet 2015 relatif à l'agrément des modalités de prise en compte des systèmes « Comfort E » dans la réglementation thermique 2012**

NOR : ETLL1517364A

(Texte non paru au *Journal officiel*)

La ministre du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité et la 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;

Vu l'arrêté du 11 décembre 2014 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique applicables aux bâtiments nouveaux et aux parties nouvelles de bâtiment de petite surface et diverses simplifications;

Vu l'arrêté du 19 décembre 2014 modifiant les modalités de validation d'une démarche qualité pour le contrôle de l'étanchéité à l'air par un constructeur de maisons individuelles ou de logements collectifs et relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique applicables aux bâtiments collectifs nouveaux et aux parties nouvelles de bâtiment collectif,

Arrêtent:

#### Article 1<sup>er</sup>

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 systèmes « Comfort E », 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 du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité et du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie.

Fait le 28 juillet 2015.

Pour les ministres et par délégation :

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

K. NARCY

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

*Le directeur général de l'énergie et du climat,*

L. MICHEL

## ANNEXE 1

### MODALITÉS DE PRISE EN COMPTE DES SYSTÈMES « COMFORT E » DANS LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE 2012

#### 1/ **Définition des systèmes**

Au sens du présent arrêté, le système « Comfort E XL » est un système de production d'eau chaude sanitaire via un préparateur d'ECS et un ballon tampon qui permet le stockage de l'énergie dans des « strates » à différentes températures. Le ballon est couplé à une installation solaire comprenant un module de charge solaire stratifié et à un système d'appoint. Le système « Comfort E PLUS » est similaire mais il permet d'assurer également les besoins de chauffage grâce à l'énergie solaire et au générateur d'appoint du ballon tampon. Ce système se décline en gamme domestique pour les maisons individuelles (système « Comfort E PLUS ») et pour les logements collectifs (système « Comfort E PLUS XL »).

#### 2/ **Domaine d'application**

La présente méthode s'applique pour les systèmes « Comfort E XL », « Comfort E PLUS » et « Comfort E PLUS XL » dans le résidentiel individuel et collectif, le tertiaire avec production d'ECS, ainsi que le milieu hospitalier.

Il s'applique plus précisément aux produits suivants :

- ✓ Capteurs solaires SONNENKRAFT (SK500N eco AL, SK500L eco AL, SK400N-AL, VK25, GK5-HP, GK10-HP, SCE202-M, SCE202-S, IDMK-AL, IDFK, SKR500 et SKR500L)
- ✓ Modules de charge stratifiée SLM SONNENKRAFT (SLM50 HE : moins de 50 m<sup>2</sup> de capteurs, SLM120 HE : de 51 à 120 m<sup>2</sup> de capteurs, SLM200 HE : de 121 à 200 m<sup>2</sup> de capteurs, SLM300 HE : de 201 à 300 m<sup>2</sup> de capteurs)
- ✓ Ballons tampons SONNENKRAFT : PS800E ou PSC800E, PS1000E ou PSC1000E, PS1500E, PS2000E, PS3000E et PS5000E.
- ✓ Modules d'eau sanitaire FWM SONNENKRAFT : FWM 150, FWM 225, FWM 15i et FWM 30i seul ou en cascade.
- ✓ Vanne 3 voies directionnelle DWV pour le puisage chauffage dans le cas d'un SSC

Les appoints possibles sont les suivants :

- Chaudière standard au gaz ou fioul ;
- Chaudière basse température au gaz ;
- Chaudière à condensation au gaz ou fioul ;
- Chaudière au bois ;
- Générateur d'ECS électrique direct ;
- Chaudière électrique ;
- Résistance électrique intégrable dans le ballon tampon ;
- Réseau de chaleur.

### 3/ **Méthode de prise en compte dans les calculs pour la partie non directement modélisable**

La modélisation des systèmes est réalisée grâce à une interface « Production stockage » qui modélise des ballons de stockage associés à un ou deux générateurs. L'énergie requise en ECS et l'énergie requise pour le chauffage (lorsque l'assemblage fait également du chauffage) sont calculées conformément à la méthode Th-BCE. Les apports solaires récupérables pour le ballon sont calculés par une interface « Boucle solaire ».

Les différents systèmes pris en compte dans le titre V se rapprochent d'assemblages « Production stockage », déjà existants dans la méthode Th-BCE, suivants :

- Ballon base solaire à appoint intégré (CESI) ;
- Système solaire à appoint chauffage intégré (SSC) ;

Les différentes configurations décrites ci-dessous ne sont pas compatibles avec toutes les technologies, le tableau récapitule les différentes combinaisons possibles :

	Ballon base solaire à appoint intégré / CESI	Système solaire à appoint chauffage intégré / SSC
Comfort E PLUS	X	X
Comfort E PLUS XL	X	X
Comfort E XL	X	

Les éléments modélisés dans ces assemblages sont le ballon tampon, le préparateur ECS et la boucle solaire. Par rapport aux assemblages précédemment décrits, le principe de base des assemblages de la méthode Th-BCE est conservé mais les parties relatives au ballon de stockage, au puisage ECS et à la boucle solaire sont modifiées. En effet les étapes préconisées dans la méthode Th-BCE 2012 sont suivies : calculs des besoins ECS aux bornes du ballon, du volume puisé lors du pas de temps h pour l'ECS et des températures dans le ballon à la fin du puisage. Puis se suivent les calculs de l'énergie puisée pour le chauffage et les températures après puisage chauffage dans le cas où le stockage assure également le chauffage. Par la suite les apports solaires, les pertes au pas de temps h et enfin l'énergie requise pour l'appoint ECS et les températures du ballon après les apports de l'appoint sont calculés. Et enfin le générateur d'appoint ECS est appelé une seconde fois pour le chauffage en instantané ou après puisage dans le ballon.

#### **3.1 Fiche algorithme des différents assemblages**

Voir l'annexe 2.

#### **3.2 Fiche algorithme du module ECS**

Voir l'annexe 3.

#### **3.3 Fiche algorithme du ballon tampon**

Voir l'annexe 4.

#### **3.4 Fiche algorithme du module et de la boucle solaire**

Voir l'annexe 5.

#### **3.5 Base de données des caractéristiques produits**

Les caractéristiques des produits nécessaires à la modélisation du système ont été mises en annexe 6.

#### 4/ **Procédure d'application du titre V**

Pour prendre en compte les trois solutions présentées précédemment dans un logiciel de calcul réglementaire, il est nécessaire de suivre la démarche de saisie suivante.

##### **3.1 Saisie du projet**

La prise en compte des systèmes est réalisée au niveau de la saisie de la génération après avoir renseigné :

- La position de la génération,
- Le type de réseau de distribution intergroupe d'ECS,
- La longueur totale du réseau de distribution intergroupe d'ECS bouclé en volume chauffé,
- La longueur totale du réseau de distribution intergroupe d'ECS bouclé hors volume chauffé,
- Le coefficient de transfert thermique linéique spécifique de la distribution intergroupe d'ECS,
- Le coefficient de prise en compte d'un espace tampon,
- Une puissance nulle pour le circulateur du réseau de distribution intergroupe ECS retenue.

##### **3.2 Saisie des caractéristiques des systèmes**

Après avoir défini une génération avec une production stockage, il faut saisir les données générales de la production avec stockage :

- Le type de système mis en place (« Comfort E PLUS », « Comfort E PLUS XL » ou « Comfort E XL ») ;
- La configuration choisie (CESI ou SSC).

Il faut par la suite saisir :

- Les caractéristiques du module d'ECS :
  - Le type de module FWM mis en place ;
  - Le coefficient de transmission thermique du réseau entre le ballon et le module FWM ;
  - La longueur du réseau aller entre le ballon et le module FWM ;
  - La longueur du réseau retour entre le ballon et le module FWM ;
  - Le nombre de module FWM 30i assurant le bouclage seul lors de l'utilisation d'une cascade de module.
- Les caractéristiques de la boucle solaire et du module SLM :
  - La référence des capteurs solaires choisis ;
  - Le nombre de capteurs solaire ;
  - L'orientation des capteurs solaires ;
  - L'inclinaison des capteurs solaires ;
  - Le facteur d'angle d'incidence ;
  - Le coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'extérieur ;

- Le coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment ;
- La longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur ;
- La longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur ;
- La longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment ;
- La longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment ;
- Le type de module SLM mis en place ;
- Le coefficient de transmission thermique du réseau entre le ballon et le module SLM ;
- La longueur du réseau aller entre le ballon et le module SLM ;
- La longueur du réseau retour entre le ballon et le module SLM.
- Les caractéristiques du ballon tampon :
  - La référence du ballon choisi ;
  - Le nombre de ballon tampon ;
  - La zone de piquage pour le retour du générateur d'appoint vers le ballon (charge du ballon)
- Les caractéristiques de l'appoint :
  - La température de consigne de la zone du ballon chauffée par l'appoint ;
  - L'hystérésis du système d'appoint ;
  - Le type de gestion de l'appoint ;
- Les caractéristiques du module de chauffage dans le cas d'une configuration SSC :
  - La différence de température permettant le puisage chauffage dans le ballon ;
  - La différence de température d'arrêt du puisage chauffage dans le ballon ;
  - La température de retour du réseau de distribution de chauffage (à mettre en cohérence avec la saisie des émetteurs de chauffage.

## ANNEXE 2

### FICHE ALGORITHME « ASSEMBLAGE »

#### I. Introduction

Cette fiche algorithme décrit les assemblages suivants :

- COMFORT E PLUS et COMFORT E PLUS XL ;
- COMFORT E XL.

Ces systèmes sont composés de trois éléments :

- Un ballon tampon ;
- Un module d'eau sanitaire avec pompe de bouclage intégrée ;
- Un module de charge solaire stratifiée (avec boucle solaire).

Les systèmes COMFORT E PLUS et COMFORT E PLUS XL couvrent les besoins d'ECS et de chauffage alors que le système COMFORT E XL ne couvre que les besoins d'ECS.

Ces assemblages sont considérés comme des assemblages « générateur » mais ce sera l'interface production stockage qui sera utilisée.

De plus pour décrire la boucle solaire, il était nécessaire de développer une autre extension dynamique utilisant l'interface boucle solaire.

#### II. Nomenclature de l'extension production stockage

Entrées du module <sup>1</sup>			
Nom	Description	Unité	
Gestion/régulation de la génération	Qreq(h)	Demande en énergie en ECS ou en chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération	Wh
	θaval(h)	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération	°C
	Rpuis_dispo(h)	Temps de fonctionnement à charge maximale potentiellement disponible	-
	θamb(h)	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
	idECS_seule(h)	Indicateur de production ECS seule	-
	θdepart_ecs(h)	Température de départ de la distribution d'ECS (correspond à θaval(h))	°C
Météo	Text(h)	Température extérieure du site	°C
	θcw(h)	Température de l'eau froide sanitaire	°C
Assemblage	Heure_legale(h)	Heure légale	h
	Tz(h-1) et (h-2)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) aux pas de temps précédents	°C

Paramètres de l'interface <sup>2</sup>				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
Name	Nom du composant	-	-	-

<sup>1</sup> Valeurs opérées par d'autres modules.

<sup>2</sup> Rentrés par l'utilisateur.

Index	Identifiant unique du composant	-	[0 ; +∞[	-
Rdim	Nombre de composants identiques	-	[1 ; +∞[	1
Idpriorite_ch	Indice de priorité du générateur en chauffage	-	[1 ; +∞[	-
Idpriorite_Ecs	Indice de priorité du générateur en ECS	-	[1 ; +∞[	-
θmax_av_lgen	Température aval maximale pour le chauffage	°C	[0 ; +∞[	-

Paramètres du module <sup>3</sup>				
Nom	Description	Unité	Intervalle <sup>4</sup>	Def. <sup>5</sup>
Type_systeme_choisi	Type de système choisi : 1 : Comfort E PLUS 2 : Comfort E PLUS XL 3 : Comfort E XL	-	[1 ;3]	1
Configuration_choisie	Type de configuration choisie : 0 : CESI 1 : SSC	-	[0 ;1]	0
Id_pos_gen	Indice de position de la génération : 0 : hors volume chauffé 1 : en volume chauffé	-	[0 ;1]	0
type_res_inter_gr_ecs	Type du réseau de distribution intergroupe ECS : 0 : Pas de réseau intergroupe 1 : Réseau intergroupe bouclé	-	[0 ; 1]	-
L_vc_prim_bcl_e	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe bouclé en volume chauffé	-	[0 ; +∞[	-
L_hvc_prim_bcl_e	Longueur totale du réseau de distribution intergroupe bouclé hors volume chauffé	-	[0 ; +∞[	-
U_prim_e	Coefficient de transfert thermique linéique spécifique de la distribution intergroupe d'ECS	-	]0 ; +∞[	-
b_therm	Coefficient de prise en compte d'un espace tampon pour le calcul des pertes de distribution intergroupe	-	[0 ; 1]	-
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage	-	-	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
Rfonct_besoin_report(h)	Report au pas suivant du temps de fonctionnement du préparateur lors d'un puisage	h
Qw_sto_unit_report(h)	Energie non assurée au pas de temps h,	Wh

<sup>3</sup> Rentrés par l'utilisateur.

<sup>4</sup> Les intervalles de l'interface donnent les limites les plus larges autorisées pour le calcul. Sauf mentions contraire, le test de compatibilité est systématique fait dans le code. Préciser l'exclusion des bornes ([...,], [...]) etc.).

<sup>5</sup> Valeur par défaut.

	reportée au pas de temps suivant (valeur initiale 0)	
Pn_Gen_Ecs	Puissance nominale du générateur en ECS	W
Pmax	Puissance maximale du générateur	W
Ø_vc	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises à l'ambiance	Wh
Q_cons	Puissance consommé par le générateur	Wh
Q_fou	Puissance fournie par le générateur	W
Qprelec	Production électrique du générateur	Wh
Qrest	Energie restant à fournir à la fin du pas d temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant	Wh
Taux_charge	Taux de charge du générateur	-
R_fonctecs	Temps de fonctionnement du générateur pour la production d'ECS, à puissance maximale, au pas de temps h	-
Waux_Pro	Consommation des auxiliaires au pas de temps h	Wh
{Q_cef_Ecs (h)}	Tableau des consommations en énergie finale pour la production d'ECS en fonction des énergies utilisées (Gaz, Fioul, Charbon, Bois, Electricité, Réseau de fourniture)	Wh
Pn_Gen_Ch	Puissance nominale du générateur en chauffage	W
{Q_cef_Ch (h)}	Tableau des consommations en énergie finale pour le chauffage en fonction des énergies utilisées (Gaz, Fioul, Charbon, Bois, Electricité, Réseau de fourniture)	Wh

Variables internes <sup>6</sup>		
Nom	Description	Unité
Tchaufferie(h)	Température d'ambiance du lieu où se trouve le générateur	°C
Øpertes_vc_prim_e(h)	Pertes thermiques horaires en volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
Øpertes_hvc_prim_e(h)	Pertes thermiques horaires hors volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
pertes_bouclage(h)	Somme des pertes thermiques en et hors volume chauffé du réseau de distribution intergroupe d'ECS	Wh
Qw_gr(h)	Besoins d'ECS de l'ensemble des groupes raccordés au réseau intergroupe sans les pertes de distribution de celui-ci	Wh
Pertes_FWM(h)	Pertes thermiques du module FWM à la fin	W

<sup>6</sup> Variables utilisées uniquement dans le module courant.

	du pas de temps h	
W_aux_FWM(h)	Consommation électrique des auxiliaires du module FWM, en énergie finale	Wh
Besoin_reporte(h)	Besoins ECS aux bornes du ballon reportés au pas de temps suivant	Wh
Tz_Nbiter_ecs(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
Qrest_ch(h)	Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour le chauffage	Wh
Tz_Nbiter_ch(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de puisage chauffage	°C
W_aux_boucle_solaire(h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Φvc_BS(h)	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
Pertes_SLM(h)	Pertes thermiques du module SLM à la fin du pas de temps h	W
Qsol(h)	Energie transférée par la boucle solaire au ballon tampon	Wh
Pertes_ballon(h)	Pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps h	W
Tz_isol_Nbiterisol(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de la boucle solaire	°C
Tmoy_bal_appoint(h)	Température moyenne du ballon après les apports solaires	°C
Qreq_sto_app(h)	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage	-

Constantes <sup>7</sup>			
Nom	Description	Unité	Conv.
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage	-	-

### III. Description mathématique de l'extension production stockage

#### 1. ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DES SYSTEMES COMFORT E PLUS ET COMFORT E PLUS

XL

##### 1.1. Prétraitement des données

Ce paragraphe consiste à évaluer les paramètres d'intégration propres à l'assemblage et à calculer les données d'entrée des fiches constituant l'assemblage.

<sup>7</sup> Constantes (ex : chaleur spécifique de l'eau) et conventions.

### 1.1.1. Fonction de l'assemblage

L'assemblage fonctionne en mode mixte et en mode ECS seule. Dans ce cas, le cas où le générateur d'appoint, en plus de réchauffer le ballon pour l'ECS, assure le chauffage instantané est également envisagé. L'indicateur de configuration choisie est le suivant :

$$\text{Configuration\_choisie} = 0 \text{ ou } \text{Configuration\_choisie} = 1 \quad (1)$$

### 1.1.2. Position de l'assemblage

Le positionnement du ballon (il en va de même pour les générateurs de base et d'appoint) est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

### 1.1.3. Pertes de distribution

Pour la régulation de notre module d'eau sanitaire ECS, il faut connaître les pas de temps sur lesquels il y a un besoin d'ECS (puisage) et les pas de temps sur lesquels il y a bouclage (si le réseau est bouclé). Ainsi pour déterminer ces pas de temps, les pertes du réseau de distribution intergroupe d'ECS sont calculées lorsque celui-ci est bouclé (ceux sont les mêmes équations définies dans la méthode Th-BCE paragraphe 11.8.3.3.2) :

Si

$$\text{type\_res\_inter\_gr\_ecs} = 1$$

Alors pour les pertes en volume chauffé :

$$\phi_{\text{pertes\_vc\_prim\_e}}(h) = U_{\text{prim\_e}} \times L_{\text{vc\_prim\_bcl\_e}} \times (\theta_{\text{depart\_ecs}} - 20) \quad (2)$$

Et pour les pertes en volume non-chauffé :

$$\phi_{\text{pertes\_hvc\_prim\_e}}(h) = U_{\text{prim\_e}} \times L_{\text{hvc\_prim\_bcl\_e}} \times (\theta_{\text{depart\_ecs}} - (20 + b_{\text{therm}} \times (T_{\text{ext}}(h) - 20))) \quad (3)$$

Ainsi comme pertes de bouclage :

$$\text{pertes\_bouclage}(h) = \phi_{\text{pertes\_vc\_prim\_e}}(h) + \phi_{\text{pertes\_hvc\_prim\_e}}(h) \quad (4)$$

S'il n'y a pas de réseau de distribution bouclé :

$$\text{type\_res\_inter\_gr\_ecs} = 0$$

Alors

$$\text{pertes\_bouclage}(h) = 0 \quad (5)$$

Après avoir calculé les pertes de distribution il est possible de calculer le besoin sans les pertes de bouclage :

$$Q_{w\_gr}(h) = \max(Q_{\text{req\_ecs}}(h) - \text{pertes\_bouclage}(h); 0) \quad (6)$$

## 1.2. Ordre des calculs

Les étapes préconisées dans la méthode Th-BCE 2012 sont suivies : les besoins ECS aux bornes du ballon, le volume puisé lors du pas de temps h (pour l'ECS et le chauffage) sont d'abord déterminés et les températures dans le ballon à la fin des puisages sont déduites. Puis les apports solaires et les pertes au

pas de temps  $h$  sont appliqués et enfin l'énergie requise pour l'appoint (ECS et chauffage) et les températures du ballon après les apports de l'appoint sont déterminées.

Pour la configuration CESI, les besoins considérés sont uniquement les besoins d'ECS et il n'y a pas d'étape de puisage chauffage dans le ballon tampon.

### 1.2.1. Première étape : besoins d'ECS aux bornes du ballon tampon

Le besoin horaire aux bornes du ballon n'est pas égal au besoin horaire augmenté des pertes de réseau calculé par la méthode Th-BCE 2012. En effet, il faut prendre en compte l'efficacité de l'échangeur présent dans le module d'eau chaude sanitaire FWM.

Pour cela l'algorithme du module FWM (fiche algorithme « Module ECS ») est utilisé pour obtenir les valeurs de :

- l'efficacité de l'échangeur du module FWM ;
- le débit d'eau qui passera dans l'échangeur ou dans la cascade FWM côté charge ;
- la consommation des auxiliaires du module FWM, en énergie finale ;
- le nombre de module FWM de la cascade qui sont en fonctionnement lors d'un puisage.

Ces variables sont calculées en fonction du type de module FWM mis en place dans le système.

De plus les pertes thermiques de l'échangeur du module FWM en fonction de l'isolation du module dans l'algorithme du ballon sont calculées (fiche algorithme « Ballon tampon »).

### 1.2.2. Deuxième étape : volume puisé d'ECS et température après puisage

Dans cette partie, sont déterminés : le volume puisé pour répondre aux besoins ECS transmis au ballon par le module FWM et les températures du ballon après puisage en tenant compte de la régulation du module FWM. A la fin de la boucle itérative, le champ de température du ballon après le puisage d'ECS est connu.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Ballon tampon* » et plus précisément la partie « *Calcul du volume puisé et des températures après puisage ECS* » est utilisée.

La fiche permettra d'obtenir :

- le volume horaire puisé pour répondre aux besoins d'ECS  $V_p(h)$  utilisé dans la 6<sup>ème</sup> étape ;
- l'énergie à reporter au pas de temps suivant  $Besoin_{reporté}(h)$  ;
- les températures des différentes zones du ballon après puisage  $T_{z\_Nbiter\_ecs}(h)$  utilisées dans la 3<sup>ème</sup> étape.

### 1.2.3. Troisième étape : volume puisé pour chauffage et températures après puisage

Après le puisage de l'ECS, l'énergie disponible pour assurer une partie de la demande d'énergie de chauffage est puisée dans le ballon. Les algorithmes déterminent, selon les conditions de gestion-régulation de la boucle chauffage, l'énergie fournie par le ballon à la boucle de chauffage et l'énergie restante à fournir.

Une fois l'énergie fournie, le ballon met à jour les températures de chaque zone compte tenu de la stratification des zones du ballon.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Ballon tampon* » et plus précisément la partie « *Calcul de l'énergie fournie pour le chauffage et des températures* » sera utilisée.

La fiche permettra d'obtenir :

- l'énergie restant à fournir par l'appoint chauffage  $Q_{rest\_ch}(h)$  ;
- les températures des différentes zones du ballon après puisage pour le chauffage utilisées dans la 5<sup>ème</sup> étape  $T_{z\_Nbiter\_ch}(h)$ .

#### **1.2.4. Quatrième étape : calculs de la boucle solaire avec le module SLM**

A partir du rayonnement solaire, on calcule l'énergie solaire potentiellement récupérable pour le ballon tampon.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Module solaire* » sera utilisée.

La fiche permettra d'obtenir :

- les températures et le débit circulant dans la boucle solaire et dans la boucle de charge du module SLM ;
- les pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire  $\phi_{vc}^{BS}(h)$  ;
- les consommations électriques des auxiliaires de la boucle solaire  $W_{aux\_charge\_SLM}(h)$  et  $W_{aux\_solaire\_SLM}(h)$ .

#### **1.2.5. Cinquième étape : Application des apports de chaleur par le solaire et des pertes thermiques du ballon**

Après avoir déterminé les températures après puisage pour l'ECS et pour le chauffage, dans cette partie la nouvelle gamme de températures après la prise en compte des apports solaires et des pertes du ballon tampon sera déterminée.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Ballon tampon* » et plus précisément la partie « *Application des apports de chaleur par le solaire et des pertes thermiques du ballon* » sera utilisée.

La fiche permettra d'obtenir :

- les températures des différentes zones du ballon après prise en compte de l'énergie solaire et des pertes ;
- les pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps h.

#### **1.2.6. Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon et générateur pour stockage avec fonction appoint**

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir les zones chauffées par l'appoint à la température de consigne.

Par la suite, les algorithmes des générateurs, détermineront l'énergie réellement fournie au ballon  $Q_{fou\_sto\_ap}(h)$  à partir de l'énergie requise  $Q_{req\_sto\_ap}(h)$  et de la température moyenne des zones du ballon chauffée par l'appoint  $T_{moy\_bal\_appoint}(h)$ .

Dans le cas de plusieurs générateurs raccordés pour faire l'appoint  $R_{dim} \neq 1$  l'énergie requise à chaque générateur sera égale à :

$$Q_{req\_sto\_ap}(h) \leftarrow \frac{Q_{req\_sto\_ap}(h)}{R_{dim}} \quad (7)$$

L'énergie fournie au ballon sera alors égale à :

$$Q_{fou\_sto\_ap}(h) \leftarrow Q_{fou\_sto\_ap}(h) \times R_{dim} \quad (8)$$

### 1.2.7. Septième étape : calcul des températures à la fin du pas de temps $h$

A cette étape, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint sera intégrée au calcul des températures du ballon.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Ballon tampon* » et plus précisément la partie « *Calcul des températures à la fin du pas de temps  $h$*  » sera utilisée.

La fiche renverra :

- les températures des différentes zones du ballon après prise en compte de l'énergie fournie par l'appoint  $T_z(h)$ .

### 1.2.8. Huitième étape : générateur pour stockage avec fonction appoint pour chauffage

S'il reste une énergie à fournir pour le chauffage (calculée lors de la troisième étape), le générateur d'appoint est appelé une seconde fois, en posant :

$$Q_{req}(h) = Q_{rest\_ch}(h) \quad (9)$$

Lors de cet appel, la température aval considérée est la température de fonctionnement des générateurs instantanés de chauffage calculée au niveau de la génération  $\theta_{wm\_ch}^{gen}$ . Les consommations calculées seront attribuées au chauffage.

Dans le cas de plusieurs générateurs raccordés pour faire l'appoint  $R_{dim} \neq 1$  l'énergie requise à chaque générateur sera égale à :

$$Q_{req}(h) \leftarrow \frac{Q_{rest\_ch}(h)}{R_{dim}} \quad (7-1)$$

## 1.3. Traitement des données de sortie

La simulation calcule l'énergie consommée par l'assemblage. Cette énergie vient :

- du système d'appoint ;
- de la pompe de charge du module FWM ;
- de la pompe de la boucle solaire ;
- de la pompe de charge du module SLM.

### 1.3.1. Calcul des consommations

Dans le cas des systèmes Comfort E PLUS et Comfort E PLUS XL, la consommation en énergie finale s'exprime sous forme de matrice, de la façon suivante :

$$\left\{ Q_{cef(po;Idengen)}^{assemblage}(h) \right\} = \left( \begin{array}{l} Q_{cons}^{gnr\_ap}(h) \times \left( \frac{Q_{req\_ch}(h) \cdot \{E_{(1;Idengen)}\} + Q_{req\_ecs}(h) \cdot \{E_{(3;Idengen)}\}}{Q_{req\_ch}(h) + Q_{req\_ecs}(h)} \right) \\ + (W_{aux\_charge\_SLM} + W_{aux\_solaire\_SLM}) \times \left( \frac{Q_{req\_ch}(h) \cdot \{E_{(1;50)}\} + Q_{req\_ecs}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\}}{Q_{req\_ch}(h) + Q_{req\_ecs}(h)} \right) \\ + W_{aux\_FWM} \cdot \{E_{(3;50)}\} \end{array} \right) \quad (10)$$

Pour voir la contribution des systèmes COMFORT E PLUS et COMFORT E PLUS XL, il est possible de détailler la consommation en énergie finale :

- Consommation de l'appoint :

$$\left\{ Q_{cef(po;Idengen)}^{gnr\_ap}(h) \right\} \quad (11)$$

- Consommation des auxiliaires :

$$W_{aux}(h) = W_{aux\_FWM}(h) + W_{aux\_charge\_SLM}(h) + W_{aux\_solaire\_SLM}(h) \quad (12)$$

- Et pour voir la contribution des apports solaires sur l'année :

$$E_{sol\_tot}^{BS} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{sol}(h) \quad (13)$$

Et

$$E_{ef\_aux\_tot}^{BS} = \sum_{h=1}^{8760} W_{aux\_charge\_SLM}(h) + W_{aux\_solaire\_SLM}(h) \quad (14)$$

### 1.3.2. Énergie restante à fournir par le générateur d'appoint pour l'ECS

Dans le cas du SSC à appoint pour le chauffage raccordé à l'assemblage, le report d'énergie pour l'ECS est géré au niveau du puisage dans le ballon et non au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon.

$$Q_{rest\_ecs}^{gnr\_ap}(h) = 0 \quad (15)$$

### 1.3.3. Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de stockage, récupérables par l'ambiance si l'élément de stockage est en volume chauffé, s'écrivent :

$$\phi_{vc}^{sto}(h) = Pe(h) \times Id_{pos\_gen} \quad (16)$$

A ces pertes de stockage s'ajoutent les éventuelles pertes en volume chauffé du générateur d'appoint issues de la fiche algorithmique « Générateur » :

$$\phi_{vc}^{gnr}(h) \leftarrow \phi_{vc}^{gnr}(h) \times Id_{pos\_gen} \quad (17)$$

S'ajoutent également les pertes en volume chauffé de la boucle solaire issues de la fiche algorithme « Module solaire » :

$$\phi_{vc\_BS}(h) \quad (18)$$

## 2. ASSEMBLAGE DES COMPOSANTS DU SYSTEME COMFORT E XL

### 2.1. Prétraitement des données

Ce paragraphe consiste à évaluer les paramètres d'intégration propres à l'assemblage et à calculer les données d'entrée des fiches constituant l'assemblage.

#### 2.1.1. Fonction de l'assemblage

L'assemblage fonctionne en mode mixte et en mode ECS seule. Dans ce cas, le cas où le générateur d'appoint, en plus de réchauffer le ballon pour l'ECS, assure le chauffage instantané est également envisagé. L'indicateur de configuration choisie est le suivant :

$$Configuration\_choisie = 0 \quad (19)$$

#### 2.1.2. Position de l'assemblage

Le positionnement du ballon (il en va de même pour les générateurs de base et d'appoint) est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

#### 2.1.3. Pertes de distribution

Pour la régulation de notre préparateur ECS, il est nécessaire de connaître les pas de temps sur lesquels il y a un besoin d'ECS (puisage) et les pas de temps sur lesquels il y a bouclage (si le réseau est bouclé). Ainsi pour déterminer ces pas de temps les pertes du réseau de distribution intergroupe d'ECS lorsque celui-ci est bouclé sont calculées (ceux sont les mêmes équations définies dans la méthode Th-BCE paragraphe 11.8.3.3.2) :

Si

$$type\_res\_inter\_gr\_ecs = 1$$

Alors pour les pertes en volume chauffé :

$$\phi_{pertes\_vc\_prim\_e}(h) = U_{prim\_e} \times L_{vc\_prim\_bcl\_e} \times (\theta_{depart\_ecs} - 20) \quad (20)$$

Et pour les pertes en volume non-chauffé :

$$\phi_{pertes\_hvc\_prim\_e}(h) = U_{prim\_e} \times L_{hvc\_prim\_bcl\_e} \times (\theta_{depart\_ecs} - (20 + b_{therm} \times (T_{ext}(h) - 20))) \quad (21)$$

Ainsi comme pertes de bouclage :

$$pertes\_bouclage(h) = \phi_{pertes\_vc\_prim\_e}(h) + \phi_{pertes\_hvc\_prim\_e}(h) \quad (22)$$

S'il n'y a pas de réseau de distribution bouclé :

$$type\_res\_inter\_gr\_ecs = 0$$

$$\text{Alors : } pertes\_bouclage(h) = 0 \quad (23)$$

## 2.2. Ordre des calculs

Pour ce système seront suivies les étapes déjà décrites précédemment pour les systèmes COMFORT E PLUS et COMFORT E PLUS XL sans utiliser les étapes concernant le puisage et l'appoint pour le chauffage (étapes 3 et 8). En effet les besoins aux bornes du ballon, le volume puisé lors du pas de temps  $h$  (pour l'ECS sans le chauffage) sont d'abord déterminés et les températures dans le ballon à la fin du puisage sont déduites, puis les apports solaires et les pertes au pas de temps  $h$  sont appliqués et enfin l'énergie requise pour l'appoint et les températures du ballon après les apports de l'appoint sont déterminées.

## 2.3. Traitement des données de sortie

La simulation calcule l'énergie consommée par l'assemblage. Cette énergie vient :

- du système d'appoint ;
- de la pompe de charge du module FWM ;
- de la pompe de la boucle solaire ;
- de la pompe de charge du module SLM.

### 2.3.1. Calcul des consommations d'ECS

La consommation en énergie finale s'exprime sous forme de matrice, de la façon suivante :

$$\left\{ Q_{cef(po;ldengen)}^{assemblage}(h) \right\} = \left\{ \begin{array}{l} Q_{cef(3;ldengen)}^{gnr\_ap}(h) \\ + (W_{aux\_charge\_SLM} + W_{aux\_solaire\_SLM} + W_{aux\_FWM}) \cdot \{ E_{(3;50)} \} \end{array} \right\} \quad (24)$$

Pour voir la contribution du système COMFORT E XL, on peut détailler la consommation en énergie finale :

- Consommation de l'appoint :

$$\left\{ Q_{cef(3;ldengen)}^{gnr\_ap}(h) \right\} \quad (25)$$

- Consommation des auxiliaires :

$$W_{aux}(h) = W_{aux\_FWM}(h) + W_{aux\_charge\_SLM}(h) + W_{aux\_solaire\_SLM}(h) \quad (26)$$

- Et pour voir la contribution des apports solaires sur l'année :

$$E_{sol\_tot}^{BS} = \sum_{h=1}^{8760} Q_{sol}(h) \quad (27)$$

Et

$$E_{ef\_aux\_tot}^{BS} = \sum_{h=1}^{8760} W_{aux\_charge\_SLM}(h) + W_{aux\_solaire\_SLM}(h) \quad (28)$$

### 2.3.2. Énergie restante à fournir par le générateur d'appoint pour l'ECS

Dans le cas de la production d'eau chaude avec stockage, le report d'énergie est géré au niveau du puisage dans le ballon et non, contrairement aux systèmes de production instantanée, au niveau du (ou des) générateur(s) associés au ballon (base et appoint).

$$Q_{rest\_ecs}^{gnr\_ap}(h) = 0 \quad (29)$$

### 2.3.3. Calcul des pertes thermiques récupérables

Les pertes thermiques de stockage, récupérables par l'ambiance si l'élément de stockage est en volume chauffé :

$$\phi_{vc}^{sto}(h) = Pe(h) \times Id_{pos\_gen} \quad (30)$$

A ces pertes de stockage s'ajoutent les éventuelles pertes en volume chauffé du générateur d'appoint issues de la fiche algorithme « Générateur » :

$$\phi_{vc}^{gnr}(h) \leftarrow \phi_{vc}^{gnr}(h) \times Id_{pos\_gen} \quad (31)$$

S'ajoutent également les pertes en volume chauffé de la boucle solaire issues de la fiche algorithme « Module solaire » :

$$\phi_{vc\_BS}(h) \quad (32)$$

## ANNEXE 3

### FICHE ALGORITHME « MODULE ECS »

#### I. Introduction

Ici est modélisé un module d'eau sanitaire permettant une production d'ECS instantané. Ce module est placé entre un réseau de distribution du groupe ou intergroupe et un ballon tampon. Il contient un échangeur à plaque, une pompe de charge à vitesse variable et une pompe de bouclage.

#### II. Nomenclature du module FWM

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du module d'eau sanitaire FWM :

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
Qreq_ecs(h)	Demande en ECS transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération (Besoins ECS horaires majorés des pertes de distribution du groupe et intergroupe)	Wh
Qw_gr(h)	Besoins d'ECS de l'ensemble des groupes raccordés au réseau intergroupe sans les pertes de distribution de celui-ci	Wh
θcw(h)	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'eau chaude	°C
θdepart_ecs(h)	Température de départ de la distribution d'ECS	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
Type_module_FWM	Type de module FWM mise en place : 0 : Module FWM 150 1 : Module FWM 225 2 : Module FWM 15i 3 : Module FWM 30i 4 : Module FWM 30 i en cascade	-	[0 ; 4]	0
Nb_modFWM_boucl	Nombre de module FWM 30i assurant le bouclage seul lors de l'utilisation d'une cascade de module	-	[1 ; +∞]	-
deb_pointe_charge	Débit de pointe de la pompe de charge du module FWM	L/h	[0 ; +∞[	-
deb_pointe_boucl	Débit de pointe de la pompe de bouclage du module FWM	L/h	[0 ; +∞[	-
deb_seuil_boucl	Débit de seuil de la pompe de bouclage du module FWM	L/h	[[0 ; +∞[	-
P_p_bouclage	Puissance nominale de la pompe de bouclage du module FWM	W	[0 ; +∞[	-
P_p_charge_FWM	Puissance nominale de la pompe de charge du module FWM	W	[0 ; +∞[	-
UA_FWM	Coefficient d'échange de l'échangeur du module FWM	W/K	[0 ; +∞[	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
W_aux_FWM(h)	Consommation des auxiliaires du module FWM, en énergie finale	Wh
deb_FWM(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur ou dans la cascade FWM côté charge	L/h
$\varepsilon$ _FWM (h)	efficacité de l'échangeur du module FWM	-
Nb_modFWM_fonct(h)	Nombre de module FWM de la cascade qui sont en fonctionnement lors d'un puisage	-

Variables internes		
Nom	Description	Unité
deb_boucl(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur du FWM côté bouclage	L/h
deb_seuil_charge	Débit de seuil de la pompe de charge du module FWM	L/h
a_deb	Coefficient de la fonction linéaire liant le débit côté charge au débit côté bouclage	-
b_deb	Coefficient de la fonction linéaire liant le débit côté charge au débit côté bouclage	L/h
Mod_circ_FWM(h)	Coefficient de modulation de la puissance de la pompe de charge en fonction de leur mode de gestion.	-
Mod_circ_boucl(h)	Coefficient de modulation de la puissance de la pompe de bouclage en fonction de leur mode de gestion.	-
W_aux_FWM_charge (h)	Consommation électrique de la pompe de charge du module FWM	Wh
W_aux_FWM_bouclage (h)	Consommation électrique de la pompe de bouclage	Wh
C_min,FWM(h)	Capacité thermique minimale de l'échangeur du FWM pour la méthode NUT	W/K
C_max,FWM(h)	Capacité thermique maximale de l'échangeur du FWM pour la méthode NUT	W/K
C_FWM(h)	Rapport des capacités thermiques de l'échangeur du FWM pour la méthode NUT	W/K
NUT_FWM(h)	Nombre d'unité de transfert de l'échangeur FWM	-
deb_boucl_modi(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur du module i de la cascade FWM côté bouclage	L/h
deb_FWM_modi(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur du module i de la cascade FWM côté charge	L/h
Mod_circ_FWM_modi( h)	Coefficient de modulation de la puissance de la pompe de charge du module i en fonction de leur mode de gestion.	-

Mod_circ_boucl_modi( h)	Coefficient de modulation de la puissance de la pompe de bouclage du module i en fonction de leur mode de gestion.	-
W_aux_FWM_charge_modi(h)	Consommation électrique des pompes de charge de la cascade FWM, en énergie finale	Wh
W_aux_FWM_boucl_modi(h)	Consommation électrique des pompes de bouclage de la cascade FWM, en énergie finale	Wh

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
pw	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
cw	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163

### III. Description mathématique du module

Cette fiche algorithme établit pour le module d'eau sanitaire FWM :

- la consommation de ses auxiliaires ;
- l'efficacité de l'échangeur ;
- le débit de charge du module.

Lors de l'intégration de ce module d'ECS, il y a le choix entre un module seul (FWM 150, FWM 225, FWM 15i CU/VA ou FWM 30i CU/VA) ou la cascade de module FWM 30i CU/VA.

Ce choix dépendra du système mis en place :

- Comfort E PLUS : FWM 15i CU/VA ou FWM 30i CU/VA ;
- Comfort E PLUS XL : FWM 30i CU/VA seule ou en cascade ;
- Comfort E XL : FWM 30i CU/VA seule ou en cascade, FWM 150 ou FWM 225.

#### 1. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES MODULES FWM 150/225 ET 15/30i CU/VA SEULS

##### 1.1. Consommation électrique des auxiliaires et débit de charge du module

Avec les modules FWM 150/225, il y a forcément un réseau de distribution intergroupe d'ECS bouclé connecté au module. Les modules FWM 15i CU/VA et FWM 30i CU/VA sont utilisables avec et sans bouclage du réseau de distribution intergroupe d'ECS. Il faudra préciser lors de la saisie du projet la configuration du réseau de distribution intergroupe.

De plus, le module d'eau sanitaire ne sera en fonctionnement que lorsqu'il y aura une demande d'ECS ou pour maintenir en température le bouclage, c'est-à-dire si :

$$Q_{req\_ecs}(h) > 0$$

Dans ce cas, le débit d'eau qui passera dans l'échangeur du côté « bouclage » c'est-à-dire du côté du réseau de distribution intergroupe sera d'abord déterminé :

$$deb_{boucl}(h) = \frac{Q_{req\_ecs}(h) - Q_{w\_gr}(h)}{c_w \times \rho_w \times 5} + \frac{Q_{w\_gr}(h)}{C_w \times \rho_w \times (\theta_{depart\_ecs} - \theta_{cw}(h))} \quad (1)$$

Le premier terme correspond au débit qu'il faut assurer pour n'avoir qu'une chute de 5°C dans le réseau de bouclage. Le second terme correspond au volume d'eau froide que l'on injecte au pas de temps  $h$  pour assurer les besoins d'ECS au puisage de tous les émetteurs équivalents raccordés à ce réseau de distribution intergroupe.

Une fois le débit côté « bouclage » déterminé, une loi linéaire est appliquée pour déterminer le débit du côté « charge ». En effet, il y a deux relations entre le débit de bouclage et le débit de charge pour les modules FWM qui permettent de déterminer une fonction linéaire reliant le débit de bouclage et le débit de charge.

En débit de pointe : les valeurs de débit de pointe de la pompe de bouclage et la pompe de charge sont des données intrinsèques au module FWM.

Au seuil : la valeur du débit de seuil de la pompe de bouclage est une donnée intrinsèque au module FWM et le débit de seuil de la pompe de charge est défini comme étant un vingt-cinquième du débit de pointe pour les modules FWM150/225 :

$$deb_{seuil\_charge} = \frac{deb_{pointe\_charge}}{25} \quad (2)$$

Pour les modules FWM15i le débit de seuil de la pompe de charge est défini comme étant un sixième du débit de pointe :

$$deb_{seuil\_charge} = \frac{deb_{pointe\_charge}}{6} \quad (3)$$

Pour les modules FWM30i le débit de seuil de la pompe de charge est défini comme étant un douzième du débit de pointe :

$$deb_{seuil\_charge} = \frac{deb_{pointe\_charge}}{12} \quad (4)$$

A partir de cela, l'équation liant le débit de bouclage et le débit de charge est déterminée :

$$deb_{FWM}(h) = a_{deb} \times deb_{boucl}(h) + b_{deb} \quad (5)$$

Avec :

$$a_{deb} = \frac{deb_{pointe\_charge} - deb_{seuil\_charge}}{deb_{pointe\_boucl} - deb_{seuil\_boucl}} \quad (6)$$

$$b_{deb} = \frac{(deb_{pointe\_charge} - a_{deb} \times deb_{pointe\_boucl}) + (deb_{seuil\_charge} - a_{deb} \times deb_{seuil\_boucl})}{2} \quad (7)$$

Pour la consommation de la pompe de charge, les formules utilisées sont les suivantes :

$$Mod_{circ\_FWM}(h) = \left( \frac{deb_{FWM}(h)}{deb_{pointe\_charge}} \right)^{2/3} \quad (8)$$

$$W_{aux\_FWM\_charge}(h) = Mod_{circ\_FWM}(h) \times P_{p\_charge\_FWM}(h) \quad (9)$$

Pour la pompe de bouclage, cela dépend du type de module FWM :

- Module FWM 150/225 : la pompe de bouclage est une pompe à débit fixe

$$W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) = P_{p\_bouclage} \quad (10)$$

- Module FWM 15/30i avec bouclage : la pompe de bouclage est une pompe à débit variable

$$Mod_{circ\_boucl}(h) = \left( \frac{deb_{boucl}(h)}{deb_{point\ e\_boucl}} \right)^{2/3} \quad (11)$$

$$W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) = Mod_{circ\_boucl}(h) \times P_{p\_bouclage} \quad (12)$$

- Module FWM 15/30i sans bouclage :

$$W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) = 0 \quad (13)$$

Pour l'ensemble des auxiliaires du module FWM, il y a comme consommation en énergie finale :

$$W_{aux\_FWM}(h) = W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) + W_{aux\_FWM\_charge}(h) \quad (14)$$

## 1.2. Efficacité de l'échangeur

Pour déterminer la valeur de l'efficacité de l'échangeur contre-courant les formules suivantes correspondant à la méthode NUT seront utilisées :

$$C_{min,FWM}(h) = c_w \times \rho_w \times \min(deb_{boucl}(h); deb_{FWM}(h)) \quad (15)$$

$$C_{max,FWM}(h) = c_w \times \rho_w \times \max(deb_{boucl}(h); deb_{FWM}(h)) \quad (16)$$

$$C_{FWM}(h) = \frac{C_{min,FWM}(h)}{C_{max,FWM}(h)} \quad (17)$$

$$NUT_{FWM}(h) = \frac{UA_{FWM}}{C_{min,FWM}(h)} \quad (18)$$

$$\varepsilon_{FWM}(h) = \frac{1 - \exp[-NUT_{FWM}(h) \times (1 - C_{FWM}(h))]}{1 - C_{FWM}(h) \times \exp[-NUT_{FWM}(h) \times (1 - C_{FWM}(h))]} \quad (19)$$

## 1.3. Lorsqu'il n'y a pas de demande en ECS

Lorsqu'il n'y a pas de demande en ECS ou qu'il n'y a pas de bouclage c'est-à-dire si :

$$Q_{req\_ecs}(h) < 0$$

Alors :

$$deb_{FWM}(h) = 0 \quad (20)$$

$$W_{aux\_FWM}(h) = 0 \quad (21)$$

$$\varepsilon_{FWM}(h) = 0 \quad (22)$$

## 2. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES MODULES FWM 30i CU/VA EN CASCADE

### 2.1. Consommation électrique des auxiliaires et débit de charge du module

La cascade de modules FWM 30i CU/VA est utilisable avec et sans bouclage du réseau de distribution intergroupe d'ECS.

De plus la cascade de module d'eau sanitaire ne sera en fonctionnement que lorsqu'il y aura une demande d'ECS ou pour maintenir en température le bouclage, c'est-à-dire si :

$$Q_{req\_ecs}(h) > 0$$

Dans ce cas, le débit d'eau qui passera dans l'échangeur du côté « bouclage » c'est-à-dire du côté du réseau de distribution intergroupe est d'abord déterminé.

$$deb_{boucl}(h) = \frac{Q_{req\_ecs}(h) - Q_{w\_gr}(h)}{c_w \times \rho_w \times 5} + \frac{Q_{w\_gr}(h)}{C_w \times \rho_w \times (\theta_{depart\_ecs} - \theta_{cw}(h))} \quad (23)$$

Une fois le débit côté « bouclage » déterminé, étant donné que ce sont des modules en cascade qui sont utilisés, il faut déterminer suivant le débit de bouclage combien de module sont en fonctionnement pour répondre lors d'un puisage sachant que pour le bouclage seul, le nombre de module assurant le bouclage est une donnée d'entrée :

$$Nb_{mod\ FWM\_boucl} = donnée\_utilisateur$$

$$Nb_{mod\ FWM\_fonct} = \max \left[ Arr_{sup} \left( \frac{deb_{boucl}(h)}{deb_{pointe\_boucl}} \right); Nb_{mod\ FWM\_boucl} \right] \quad (24)$$

Puis pour chaque module le débit bouclage propre est déterminé.

$$deb_{boucl\_mod\ i}(h) = \frac{deb_{boucl}(h)}{Nb_{mod\ FWM\_fonct}} \text{ pour } i \text{ allant de } 1 \text{ à } Nb_{mod\ FWM\_fonct} \quad (25)$$

Une loi linéaire pour déterminer le débit du côté « charge » de chaque module est appliquée. En effet, il y a deux relations entre le débit de bouclage et le débit de charge pour les modules FWM qui permettent de déterminer une fonction linéaire reliant le débit de bouclage et le débit de charge :

En débit de pointe : les valeurs de débit de pointe de la pompe de bouclage et la pompe de charge sont des données intrinsèques au module FWM.

Au seuil : la valeur du débit de seuil de la pompe de bouclage est une donnée intrinsèque au module FWM et le débit de seuil de la pompe de charge est défini comme étant un douzième du débit de pointe :

$$deb_{seuil\_charge} = \frac{deb_{pointe\_charge}}{12} \quad (26)$$

A partir de cela, l'équation liant le débit de bouclage et le débit de charge est déterminée :

$$deb_{FWM\_mod\ i}(h) = a_{deb} \times deb_{boucl\_mod\ i}(h) + b_{deb} \quad (27)$$

Avec  $i$  variant de 1 à  $Nb_{mod\ FWM\_fonct}$

Avec :

$$a_{deb}(h) = \frac{deb_{pointe\_charge} - deb_{seuil\_charge}}{deb_{pointe\_boucl} - deb_{seuil\_boucl}} \quad (28)$$

$$b_{deb}(h) = \frac{(deb_{pointe\_charge} - a_{deb} \times deb_{pointe\_boucl}) + (deb_{seuil\_charge} - a_{deb} \times deb_{seuil\_boucl})}{2} \quad (29)$$

Lorsque les débits de charge sont déterminés, les consommations des pompes de charge de chaque module sont calculées :

$$W_{aux\_FWM\_charge\_mod\ i}(h) = Mod_{circ\_FWM\_mod\ i}(h) \times P_{p\_charge\_FWM}(h) \quad (30)$$

$$Mod_{circ\_FWM\_mod\ i}(h) = \left( \frac{deb_{FWM\_mod\ i}(h)}{deb_{point\ e\_charge}} \right)^{2/3} \quad (31)$$

Avec  $i$  variant de 1 à  $Nb_{mod\ FWM\_fonct}$

Pour la pompe de bouclage, cela dépend s'il y a bouclage ou pas :

- Cascade de module FWM 30i avec bouclage : la pompe de bouclage est une pompe à débit variable

$$W_{aux\_FWM\_bouclage\_mod\ i}(h) = Mod_{circ\_boucl\_mod\ i}(h) \times P_{p\_bouclage} \quad (32)$$

$$Mod_{circ\_boucl\_i}(h) = \left( \frac{deb_{boucl\_mod\ i}(h)}{deb_{point\ e\_boucl}} \right)^{2/3} \quad (33)$$

Avec  $i$  variant de 1 à  $Nb_{mod\ FWM\_fonct}$

- Cascade de module FWM 30i sans bouclage :

$$W_{aux\_FWM\_bouclage\_mod\ i}(h) = 0 \quad (34)$$

Pour l'ensemble des auxiliaires du module FWM, il y a comme consommation en énergie finale :

$$W_{aux\_FWM\_charge}(h) = \sum_{i=1}^{Nb\_mod\ FWM\_fonct} W_{aux\_FWM\_charge\_mod\ i}(h) \quad (35)$$

$$W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) = \sum_{i=1}^{Nb\_mod\ FWM\_fonct} W_{aux\_FWM\_bouclage\_mod\ i}(h) \quad (36)$$

$$W_{aux\_FWM}(h) = W_{aux\_FWM\_bouclage}(h) + W_{aux\_FWM\_charge}(h) \quad (37)$$

## 2.2. Efficacité de l'échangeur

La cascade est assimilée à un seul module pour le calcul de l'efficacité et elle est calculée avec les mêmes formules que précédemment :

$$C_{min,FWM}(h) = c_w \times \rho_w \times \min(deb_{boucl}(h); deb_{FWM}(h)) \quad (38)$$

$$C_{max,FWM}(h) = c_w \times \rho_w \times \max(deb_{boucl}(h); deb_{FWM}(h)) \quad (39)$$

$$C_{FWM}(h) = \frac{C_{min,FWM}(h)}{C_{max,FWM}(h)} \quad (40)$$

$$NUT_{FWM}(h) = \frac{UA_{FWM}}{C_{min,FWM}(h)} \quad (41)$$

$$\varepsilon_{FWM}(h) = \frac{1 - \exp[-NUT_{FWM}(h) \times (1 - C_{FWM}(h))]}{1 - C_{FWM}(h) \times \exp[-NUT_{FWM}(h) \times (1 - C_{FWM}(h))]} \quad (42)$$

Avec la somme des débits égale au débit FWM total renvoyé au ballon :

$$deb_{FWM}(h) = \sum_{i=1}^{Nb\_mod\ FWM\_fonct} deb_{FWM\_mod\ i}(h) \quad (43)$$

### 2.3. Lorsqu'il n'y a pas de demande en ECS

Lorsqu'il n'y a pas de demande en ECS ou qu'il n'y a pas de bouclage c'est-à-dire si :

$$Q_{req\_ecs}(h) < 0$$

Alors :

$$deb_{FWM}(h) = 0 \quad (44)$$

$$W_{aux\_FWM}(h) = 0 \quad (45)$$

$$\varepsilon_{FWM}(h) = 0 \quad (46)$$

## ANNEXE 4

### FICHE ALGORITHME « BALLON TAMPON »

#### I. Introduction

Ici est modélisé un ballon de stockage qui assure la totalité de la production d'eau chaude sanitaire et une partie des besoins de chauffage. Le ballon tampon contient une plaque de stratification. En cas de hauteur sous plafond limitée, il est possible de coupler plusieurs ballons tampons ensemble et de les assimiler à un seul ballon. En effet, le couplage de plusieurs ballons est réalisé par 4 flexibles de raccordement en 1 ½" ou en 2" suivant les modèles à 4 niveaux de température différents ce qui permet d'assimiler à un seul ballon (la stratification n'est pas perdue).

#### II. Nomenclature du ballon tampon

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du modèle de ballon de stockage :

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
Tz(h-1) et (h-2)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) aux pas de temps précédents	°C
Qreq_ecs(h)	Demande en ECS transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération (Besoins ECS horaires majorés des pertes de distribution du groupe et intergroupe)	Wh
Qreq_ch(h)	Demande de chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
Qw_gr(h)	Besoins d'ECS de l'ensemble des groupes raccordés au réseau intergroupe sans les pertes de distribution de celui-ci	Wh
W_aux_FWM(h)	Consommation électrique des auxiliaires du module FWM, en énergie finale	Wh
deb_FWM(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur ou dans la cascade FWM côté charge	L/h
epsilon_FWM	efficacité de l'échangeur du module FWM	
Nb_modFWM_fonct(h)	Nombre de module FWM de la cascade qui sont en fonctionnement lors d'un puisage	-
ε_SLM(h)	Efficacité de l'échangeur du module SLM	-
W_aux_boucle_solaire (h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Φvc_BS(h)	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
Te(h)	Température à l'entrée de l'échangeur du module SLM côté solaire	°C
passage(h)	Indicateur de régulation de la boucle solaire	-
deb_SLM(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur SLM côté charge	L/h
deb_sol(h)	Débit de fluide solaire passant dans la	L/h

	boucle solaire	
Tb(h) et (h-1)	Température à la sortie des capteurs solaires	°C
Ts(h)	Température à la sortie de l'échangeur du module SLM côté solaire	°C
marche_sol(h)	Indicateur de régulation de la boucle solaire	-
Qfou_sto_ap(h)	Energie transmise au ballon tampon par l'appoint	Wh
θamb(h)	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
θcw(h)	Température de l'eau froide entrant dans le système de préparation de l'eau chaude	°C
Text(h)	Température extérieure	°C
θdepart_ecs(h)	Température de départ de la distribution d'ECS	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
Reference_ballon	Référence du ballon tampon pris en compte	-	[0 ; 7]	-
V_tot	Volume total du ballon	L	[0 ; +∞[	-
statut_donnee_UA	La valeur du coefficient de pertes thermiques du stockage vers l'ambiance est une donnée : 0 : Certifiée, 1 : Par défaut.	-	[0 ; 1]	-
UA_s	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	[0 ; +∞[	-
θb_max	Température maximale du ballon	°C	[70 ; 100]	-
Type_gestion_appoint	Type de gestion du thermostat d'appoint du ballon : 0 : Chauffage permanent 1 : Chauffage de nuit	-	[0 ; 1]	-
θc_ap	Température de consigne du ballon chauffée	°C	[30 ; 80]	-
Δθc_ap	Hystérésis du système de régulation de l'appoint	°C	[0 ; 10]	-
λ_isolant,FWM	Conductivité thermique de l'isolant du module FWM	W/m.K	]0 ; +∞[	0,038
e_isolant,FWM	Épaisseur de l'isolant du module FWM	m	]0 ; +∞[	0,025
S_FWM	Surface d'échange du module FWM	m <sup>2</sup>	]0 ; +∞[	3,3678
U_ballon_FWM	Coefficient de transmission thermique du réseau entre le ballon et le module FWM	W/m.K	]0 ; +∞[	-
L_ballon_FWM	Longueur du réseau aller entre le ballon et le module FWM	m	[0 ; +∞[	-
L_FWM_ballon	Longueur du réseau retour entre le ballon et le module FWM	m	[0 ; +∞[	-
λ_isolant_SLM	Conductivité thermique de l'isolant du module SLM	W/m.K	]0 ; +∞[	0,038
e_isolant_SLM	Épaisseur de l'isolant du module SLM	m	]0 ; +∞[	0,025

S_SLM	Surface d'échange du module SLM	m <sup>2</sup>	]0 ; +∞[	3,368
U_ballon_SLM	Coefficient de transmission thermique du réseau entre le ballon et le module SLM	W/m.K	]0 ; +∞[	-
L_ballon_SLM	Longueur du réseau aller entre le ballon et le module SLM	m	]0 ; +∞[	-
L_SLM_ballon	Longueur du réseau retour entre le ballon et le module SLM	m	]0 ; +∞[	-
ΔTchauf_on	Delta de température pour le déclenchement du puisage chauffage dans le ballon	°C	]0 ; +∞[	5
ΔTchauf_off	Delta de température pour l'arrêt du puisage chauffage dans le ballon	°C	]0 ; +∞[	3
Tretour_ch	Température de retour du réseau de chauffage	°C	]0 ; +∞[	-
Zone_retour_gen	Zone de piquage sur le ballon pour le retour vers le générateur : 0 : Zone 3 1 : Zone 1	-	[0 ; 1]	0

Sorties		
Nom	Description	Unité
Pertes_FWM(h)	Pertes thermiques du module FWM à la fin du pas de temps h	W
W_aux_FWM(h)	Consommation électrique des auxiliaires du module FWM, en énergie finale	Wh
Vp(h)	Volume puisé total dans le ballon pour répondre aux besoins ECS	L
Besoin_reporte(h)	Besoins ECS aux bornes du ballon reportés au pas de temps suivant	Wh
Tz_Nbiter_ecs(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
Qrest_ch(h)	Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour le chauffage	Wh
Tz_Nbiter_ch(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de puisage chauffage	°C
Ts(h)	Température à la sortie de l'échangeur SLM côté solaire	°C
Tsb(h)	Température à la sortie de l'échangeur du module SLM côté charge	°C
W_aux_boucle_solaire(h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Φvc_BS(h)	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
Pertes_SLM(h)	Pertes thermiques du module SLM à la fin du pas de temps h	W
Qsol(h)	Energie transférée par la boucle solaire au ballon tampon	Wh
Pertes_ballon(h)	Pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps h	W

Tz_isol_Nbiterisol(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) après prise en compte des pertes thermique du ballon	°C
Tmoy_bal_appoint(h)	Température moyenne du ballon après les apports solaires	°C
Qreq_sto_app(h)	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
Tz(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes		
Nom	Description	Unité
Vz	Volume de la zone z du ballon (z de 1 à 4, Vz est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
Uz	Coefficient de pertes de la zone z du ballon	W/K
Pez(h)	Pertes de la zone z du ballon	W
Besoins_ballon(h)	Energie requise aux bornes du ballon tampon	Wh
Nb_iter_ecs(h)	Nombre d'itérations de la boucle de puisage ECS	-
Q_sto(i)	Besoin ECS requis aux bornes du ballon au début de l'itération	Wh
Q_report(i)	Energie reportée à l'itération suivante i+1	Wh
Q_transmis(i)	Energie transmise au bouclage à l'itération i	Wh
Vr(i)	Volume d'eau en sortie de l'échangeur nécessaire au mitigeage de l'eau à l'entrée de l'échangeur du FWM	L
Vp(i)	Volume puisé dans le ballon à l'itération i pour l'ECS	L
T_retour(i)	Température en sortie de l'échangeur du module FWM côté charge	°C
T_retour_pertes(i)	Température de retour dans le ballon après passage dans l'échangeur du module FWM côté charge et application des pertes	°C
T4_pertes(i)	Température à l'entrée de l'échangeur du module FWM côté charge après application des pertes de distribution	°C
Vp_mod_boucl(i)	Volume d'eau passant dans les modules de bouclage FWM en cascade	L
Vp_autres(i)	Volume d'eau passant dans les autres modules FWM en cascade	L
Tz_puis_ecs(i)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à l'itération i pendant le puisage ECS	°C
Nb_iter_ch(h)	Nombre d'itérations de la boucle de puisage chauffage	-
Qpuise_ch_ballon(h)	Besoin d'énergie pour le chauffage demandé au ballon	Wh

Qreport_ch_ballon(h)	Energie non assurée à l'itération i et renvoyée à l'itération suivante	Wh
Vp_ch(i)	Volume puisé dans le ballon à l'itération i pour le chauffage	L
Tz_puis_ch(i)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à l'itération i pendant le puisage chauffage	°C
Nb_iter,sol	Nombre d'itérations de la boucle pour la prise en compte des apports solaires	-
Tz_isol(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à l'itération i de la boucle itérative de la boucle solaire	°C
ratio_sol(i)	Temps d'échange pour transmettre l'énergie de la boucle solaire à la boucle de charge	h
V_sol(i)	Volume d'eau transmis à l'échangeur côté boucle solaire de l'échangeur	L
Q_sol_int(i)	Quantité de chaleur solaire transmise au ballon	Wh
marche_charge(h)	Indicateur de régulation de la charge du ballon par l'énergie solaire	-
Vt(i)	Volume d'eau transmis à l'échangeur côté charge du SLM	L
T1,pertes(i)	Température à l'entrée de l'échangeur du module SLM côté charge après application des pertes de distribution	°C
Pertes_SLM(i)	Pertes thermiques du module SLM à l'itération i	Wh
Tsb(i)	Température à l'entrée du ballon en provenance de l'échangeur SLM avant application des pertes	°C
Tsb,pertes(i)	Température à l'entrée du ballon en provenance de l'échangeur SLM après application des pertes	°C
Nbh_report_e	Nombre d'heures pendant lequel le report d'énergie est non nul	h
f_ap(h)	Programmation de l'appoint (1 autorisé, 0 coupé)	-

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
pw	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
cw	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
pw.gly	Masse volumique de l'eau glycolée	kg/L	1,024
cw.gly	Capacité calorifique massique de l'eau glycolée	Wh/(kg.K)	1,05
faux	Fraction effective concernée par l'appoint pour les ballons base+appoint (avec appoint en zone n°3)	-	0,5

### III. Description mathématique du module

Cette partie établit pour le ballon tampon :

- ses caractéristiques ;
- le volume puisé pour répondre aux besoins ECS et les températures après puisage ;
- le volume puisé pour répondre aux besoins de chauffage et les températures après puisage ;
- ses températures après application des apports de chaleur par le solaire et des pertes thermiques du ballon ;
- ses températures après application des apports de chaleur par l'appoint.

Ces différents calculs sont présentés dans leur déroulement chronologique en accord avec les différentes étapes identifiées dans l'assemblage global dans lequel ce module s'inscrit.

#### 1. DESCRIPTION DU BALLON TAMPON

Les calculs des volumes de chacune des 4 zones du ballon et de leur coefficient de perte ne changent pas, c'est la méthode Th-BCE 2012 qui est appliquée dans ce calcul.

#### 2. PREMIERE ETAPE : BESOINS D'ECS AUX BORNES DU BALLON TAMPON

Le besoin horaire aux bornes du ballon n'est pas égal au besoin horaire augmenté des pertes de réseau calculé par la méthode Th-BCE 2012. En effet, il faut prendre en compte l'efficacité et les pertes de l'échangeur présent dans le module d'eau chaude sanitaire FWM.

Pour cela l'algorithme du module FWM (fiche algorithme « Module ECS ») qui permet d'obtenir les valeurs de est utilisé :

- l'efficacité de l'échangeur du module FWM ;
- le débit d'eau qui passera dans l'échangeur ou dans la cascade FWM côté charge ;
- la consommation des auxiliaires du module FWM, en énergie finale ;
- le nombre de module FWM de la cascade qui sont en fonctionnement lors d'un puisage.

Ces variables sont calculées en fonction du type de module FWM mis en place dans le système.

De plus les pertes thermiques de l'échangeur du module FWM en fonction de l'isolation du module sont calculées ici. Par simplification, la température moyenne de l'échangeur est calculée comme étant la moyenne entre la température à l'entrée de l'échangeur côté charge et la température en sortie de l'échangeur côté bouclage.

Pour les modules FWM 150/225, la température à l'entrée de l'échangeur côté charge est égale à 60°C (température de consigne côté charge) et la température en sortie de l'échangeur côté bouclage est égale à  $T_{\text{depart\_ECS}}$ . La formule suivante est donc utilisée :

$$Pertes_{FWM}(h) = \frac{\lambda_{\text{isolant}}}{e_{\text{isolant}}} \times S_{FWM} \times \left( \frac{60 + \theta_{\text{depart\_ECS}}}{2} - \theta_{\text{amb}}(h) \right) \quad (1)$$

Pour les modules FWM 15/30i il est considéré par simplification que la température à l'entrée de l'échangeur est égal à la température de sortie du ballon du pas de temps précédent  $T_4(h-1)$ . D'où la formule suivante :

$$Pertes_{FWM}(h) = \frac{\lambda_{isolant}}{e_{isolant}} \times S_{FWM} \times \left( \frac{T_4(h-1) + \theta_{depart\_ECS}}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \quad (2)$$

Pour la cascade de module FWM 30i, les pertes thermiques de la cascade sont égales à la somme des pertes thermiques de chaque module qui sont calculées avec la formule précédente :

$$Pertes_{FWM}(h) = \frac{\lambda_{isolant}}{e_{isolant}} \times S_{FWM} \times \left( \frac{T_4(h-1) + \theta_{depart\_ECS}}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \times Nb_{mod\ FWM\_fonct} \quad (3)$$

Le besoin aux bornes du ballon est alors défini en fonction du besoin ECS augmenté des pertes de distribution groupe, intergroupe et de l'échangeur du module FWM au pas de temps  $h$  et du besoin reporté qui correspond au besoin qui n'a pas pu être fourni au pas de temps précédent :

$$Besoins_{ballon}(h) = \frac{Q_{req\_ecs}(h) + Besoin_{reporté}(h-1)}{\varepsilon_{FWM}(h)} + Pertes_{FWM}(h) \quad (4)$$

### 3. DEUXIEME ETAPE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE POUR L'ECS

Dans cette partie, le volume puisé pour répondre aux besoins ECS et les températures du ballon après puisage sont déterminés, le report d'énergie également. Cette étape correspond à la 2<sup>ème</sup> étape de l'assemblage global.

#### 3.1. Volume puisé pour l'ECS

##### 3.1.1. Avec module FWM150/225

La température de consigne à l'entrée de l'échangeur côté « charge » est de 60°C. Un mitigeage se fait à l'entrée de l'échangeur entre l'eau chaude arrivant du ballon et l'eau plus froide sortant de l'échangeur afin d'atteindre cette température consigne de 60°C. La méthode de calcul est proche de la méthode Th-BCE 2012 mais il faut prendre en compte le mitigeage côté « charge ». Le calcul se fera en plusieurs itérations au cours du pas de temps  $h$ , comme décrit dans la méthode Th-BCE 2012. D'où pour le nombre d'itérations :

$$Nb_{iter\_ecs} = Arr_{inf} \left( \frac{2}{\min(f_{aux}, 1 - f_{aux})} \right) \quad (5)$$

La température en sortie de l'échangeur côté « charge » ( $T_{retour}$ ) est d'abord calculée dans le cas hypothétique où toute l'énergie demandée à l'itération  $i$  serait fournie.

A la première itération :

$$T_{retour}(1) = 60 - \frac{Q_{sto}(1)}{C_w \times \rho_w \times deb_{FWM}(h)} \quad (6)$$

Avec  $Q_{sto}(1) = Besoins_{ballon}(h)$

Le volume puisé dans le ballon à l'itération  $i$  est calculé en s'appuyant de la méthode Th-BCE 2012, tout en prenant en compte le mitigeage pour obtenir la température de 60°C en entrée de l'échangeur et les pertes thermiques du réseau entre le ballon et l'entrée de l'échangeur du module FWM.

Les pertes thermiques de distribution entre le ballon et l'entrée de l'échangeur sont calculées à partir de l'équation suivante où  $T_{4,pertes}(i)$  représente la température à l'entrée de l'échangeur.

D'où pour la première itération :

$$\begin{aligned} V_p(1) \times C_w \times \rho_w \times (T_4(h-1) - T_{4,pertes}(1)) \\ = U_{ballon,FWM} \times L_{ballon,FWM} \times \left( \frac{T_4(h-1) + T_{4,pertes}(1)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Et, s'il est considéré que toute l'énergie requise est fournie avec une température  $T_{4,pertes}$  à cette première itération (tout le débit côté « charge » restant passe à cette itération), il y aurait :

$$60 = \frac{V_p(1) \times T_{4,pertes}(1) + (deb_{FWM}(h) - V_p(1)) \times T_{retour}(1)}{deb_{FWM}(h)} \quad (8)$$

De cette équation il est possible de déduire une expression de  $T_{4,pertes}(1)$  que l'on injecte dans l'équation précédente pour obtenir une équation du second ordre sur  $V_p(1)$ .

D'où, une résolution du polynôme à l'ordre 2 dont la solution cohérente serait nommée  $Vol\_1(1)$  pour la première itération.

Si  $T_4(h-1) \geq 60$  alors :

$$V_p(1) = \min(Vol\_1(1); V_1; V_2; V_3; V_4) \quad (9)$$

Sinon :

$$V_p(1) = 0 \quad (10)$$

Une fois le volume puisé dans le ballon déterminé, il est possible de calculer le volume d'eau en sortie d'échangeur nécessaire pour le mitigeage avec la formule :

$$V_r(1) = \frac{V_p(1) \times (60 - T_{4,pertes}(1))}{T_{retour}(1) - 60} \quad (11)$$

Il est maintenant possible de calculer les énergies transmises et reportées :

$$Q_{transmis}(1) = C_w \times \rho_w \times [V_p(1) + V_r(1)] \times [60 - T_{retour}(1)] \quad (12)$$

Avec  $Q_{report}(1) = Q_{sto}(1) - Q_{transmis}(1)$

Aux itérations suivantes :

$$T_{retour}(i) = 60 - \frac{Q_{sto}(i)}{C_w \times \rho_w \times (deb_{FWM}(h) - V_p(i-1) + V_r(i-1))} \quad (13)$$

Avec  $Q_{sto}(i) = Q_{report}(i-1)$

Où  $Q_{sto}(i)$  correspond au besoin requis en bornes du ballon au début de l'itération  $i$ .

De la même façon qu'à la première itération l'équation suivante permet de calculer les pertes thermiques :

$$\begin{aligned} V_p(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{4\_puis\_ecs}(i-1) - T_{4\_pertes}(i)) \\ = U_{ballon,FWM} \times L_{ballon,FWM} \times \left( \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) + T_{4\_pertes}(i)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

Et, s'il est considéré que toute l'énergie requise est fournie avec une température  $T_{4\_pertes}$  à cette itération  $i$  (tout le débit côté « charge » restant passe à cette itération), il y aurait :

$$60 = \frac{V_p(i) \times T_{4\_pertes}(i) + [deb_{FWM}(h) - V_p(i-1) + V_r(i-1) - V_p(i)] \times T_{retour}(i)}{deb_{FWM}(h) - V_p(i-1) + V_r(i-1)} \quad (15)$$

De cette équation il est possible de déduire une expression de  $T_{4\_pertes}(i)$  à injecter dans l'équation précédente pour obtenir une équation du second ordre sur  $V_p(i)$ .

D'où, une résolution du polynôme à l'ordre 2 dont la solution cohérente serait nommée  $Vol\_1(i)$ .

Si  $T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \geq 60$  alors :

$$V_p(i) = \min(Vol\_1(i); V_1; V_2; V_3; V_4) \quad (16)$$

Sinon :

$$V_p(i) = 0 \quad (17)$$

Une fois le volume puisé dans le ballon déterminé, il est possible de calculer le volume d'eau en sortie d'échangeur nécessaire pour le mitigeage avec la formule :

$$V_r(i) = \frac{V_p(i) \times (60 - T_{4\_pertes}(i))}{T_{retour}(i) - 60} \quad (18)$$

Il est maintenant possible de calculer les énergies transmises et reportées à l'itération  $i$  :

$$Q_{transmis}(i) = C_w \times \rho_w \times [V_p(i) + V_r(i)] \times [60 - T_{retour}(i)] \quad (19)$$

Avec  $Q_{report}(i) = Q_{sto}(i) - Q_{transmis}(i)$

### 3.1.2. Avec module FWM15/30i CU/VA seul ou en cascade

Avec ce type de module il n'y a pas de température de consigne à l'entrée de l'échangeur et du coup pas de mitigeage avec le retour en sortie de l'échangeur. Cependant il est possible de garder la même démarche.

D'où pour le nombre d'itérations :

$$Nb_{iter\_ecs} = Arr_{inf} \left( \frac{2}{\min(f_{aux}, 1 - f_{aux})} \right) \quad (20)$$

Etant donné qu'il n'y a pas de mitigeage, il est possible de considérer que le volume puisé correspond au débit circulant dans l'échangeur c'est-à-dire  $deb_{FWM}(h)$ .

Si  $T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \geq \theta_{depart\_ECS}$  alors :

$$V_p(i) = \min(deb_{FWM}(h); V_1; V_2; V_3; V_4) \quad (21)$$

Sinon :

$$V_p(i) = 0 \quad (22)$$

Une fois le volume puisé déterminé, il est possible de déterminer la température à l'entrée de l'échangeur  $T_{4,pertes}(i)$  en prenant en compte les pertes thermiques de distribution :

$$\begin{aligned} V_p(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{4\_puis\_ecs}(i-1) - T_{4,pertes}(i)) \\ = U_{ballon,FWM} \times L_{ballon,FWM} \times \left( \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) + T_{4,pertes}(i)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\text{Avec à la première itération } T_{4\_puis\_ecs}(i-1) = T_4(h-1)$$

Il est également possible de déterminer la température en sortie de l'échangeur dans le cas hypothétique où toute l'énergie demandée à l'itération  $i$  serait fournie :

$$T_{retour}(i) = T_{4,pertes}(i) - \frac{Q_{sto}(i)}{C_w \times \rho_w \times V_p(i)} \quad (24)$$

$$\text{Avec } Q_{sto}(1) = \text{Besoins}_{ballon}(h) \text{ et } Q_{sto}(i) = Q_{report}(i-1)$$

Il est maintenant possible de calculer les énergies transmises et reportées à l'itération  $i$  :

$$Q_{transmis}(i) = C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times [T_{4,pertes}(i) - T_{retour}(i)] \quad (25)$$

$$\text{Avec } Q_{report}(i) = Q_{sto}(i) - Q_{transmis}(i)$$

### 3.2. Température pendant puisage ECS

#### 3.1.1. Avec module FWM150/225 et FWM15/30i seuls

Tout d'abord, la température de retour dans le ballon en tenant compte des pertes dans le réseau est calculée, puis les températures dans les quatre zones du ballon après application du retour d'eau et l'algorithme de mélange des zones est appliqué si nécessaire comme décrit dans la méthode Th-BCE 2012.

Pour le calcul de la température de retour à l'entrée du ballon après application des pertes dans le réseau  $T_{retour\_pertes}(i)$ , l'hypothèse est faite que le milieu ambiant échange avec une eau qui a pour température la moyenne entre la température de départ et la température à l'arrivée. Il faut résoudre l'équation suivante :

$$\begin{aligned} V_p(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{retour}(i) - T_{retour\_pertes}(i)) \\ = U_{ballon,FWM} \times L_{ballon,FWM} \times \left( \frac{T_{retour}(i) + T_{retour\_pertes}(i)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \end{aligned} \quad (26)$$

« Après un puisage, une zone contient un mélange du volume puisé à la température de la zone inférieure avec le reste de la zone ». La formule de la méthode Th-BCE 2012 est utilisée pour exprimer le mélange dans les zones mais ce mélange va dépendre de la température de retour au ballon : s'il y a un réseau de distribution d'ECS avec bouclage et si la température de retour est supérieure à 35°C, le retour se fait en zone 3 du ballon, sinon, il se fait en zone 1.

Si  $type\_res\_inter\_gr\_ecs = 1$  et si  $T_{retour\_pertes}(i) > 35$  alors :

$$T_{4\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4}$$

$$T_{3\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_3} \quad (27)$$

$$T_{2\_puis\_ecs}(i) = T_{2\_puis\_ecs}(i-1)$$

$$T_{1\_puis\_ecs}(i) = T_{1\_puis\_ecs}(i-1)$$

Sinon :

$$T_{4\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4}$$

$$T_{3\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_3} \quad (28)$$

$$T_{2\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_2 - V_p(i)) + T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_2}$$

$$T_{1\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_1 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_1}$$

Avec à la première itération :

$$T_{z\_puis\_ecs}(i-1) = T_z(h-1) \quad (29)$$

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué.

### 3.1.2. Avec module FWM30i CU/VA en cascade

Pour le calcul de la température de retour à l'entrée du ballon après application des pertes dans le réseau, la même équation que précédemment est établie. Il faut donc résoudre l'équation suivante :

$$V_p(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{retour}(i) - T_{retour\_pertes}(i))$$

$$= U_{ballon,FWM} \times L_{ballon,FWM} \times \left( \frac{T_{retour}(i) + T_{retour\_pertes}(i)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \quad (30)$$

Le retour de la cascade ne se fait pas au même endroit pour tous les modules. Lors d'un réseau bouclé, le retour du (des) module(s) avec pompe de bouclage est injecté en partie médiane du ballon tampon et le retour du (des) module(s) sans pompe de bouclage est injecté en partie basse du ballon tampon. Quand le débit de puisage dépasse le débit maximal des modules sans pompe de bouclage, le(s) module(s) avec pompe assure(nt) le complément. Si la température de retour de ce(s) module(s) dépasse 35°C, le retour est

injecté en partie médiane du ballon tampon. Lorsqu'il n'y a pas de réseau de bouclage, le retour se fait dans le bas du ballon.

Ainsi si  $type\_res\_inter\_gr\_ecs = 1$  et si  $Q_{w\_gr}(h) > 0$  (puisage)

et si  $Nb_{mod\_FWM\_fonct} \leq 4 - Nb_{mod\_FWM\_boucl}$  alors le retour s'effectue dans le bas du ballon :

$$\begin{aligned}
 T_{4\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4} \\
 T_{3\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_3} \\
 T_{2\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_2 - V_p(i)) + T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_2} \\
 T_{1\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_1 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_1}
 \end{aligned} \tag{31}$$

Si  $Nb_{mod\_FWM\_fonct} > 4 - Nb_{mod\_FWM\_boucl}$  alors le(s) module(s) de bouclage fonctionne(nt) également et il est nécessaire de répartir le volume puisé suivant les modules en fonctionnement avec l'équation suivante :

$$V_{p\_mod\_boucl}(i) = V_p(i) \times \frac{Nb_{mod\_FWM\_boucl}}{Nb_{mod\_FWM\_fonct}} \tag{32}$$

$$V_{p\_autres}(i) = \min(V_p(i) - V_{p\_mod\_boucl}(i); 0) \tag{33}$$

Et si  $T_{retour\_pertes}(i) > 35$  alors :

$$\begin{aligned}
 T_{4\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4} \\
 T_{3\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_{p\_mod\_boucl}(i) + T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times V_{p\_autres}(i)}{V_3} \\
 T_{2\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_2 - V_{p\_autres}(i)) + T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times V_{p\_autres}(i)}{V_2} \\
 T_{1\_puis\_ecs}(i) &= \frac{T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_1 - V_{p\_autres}(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_{p\_autres}(i)}{V_1}
 \end{aligned} \tag{34}$$

Sinon :

$$T_{4\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4} \tag{35}$$

$$T_{3\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_3}$$

$$T_{2\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_2 - V_p(i)) + T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_2}$$

$$T_{1\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_1 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_1}$$

De plus si  $type\_res\_inter\_gr\_ecs = 1$  et si  $Q_{w\_gr}(h) = 0$  (bouclage) alors :

$$T_{4\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4}$$

$$T_{3\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_3} \quad (36)$$

$$T_{2\_puis\_ecs}(i) = T_{2\_puis\_ecs}(i-1)$$

$$T_{1\_puis\_ecs}(i) = T_{1\_puis\_ecs}(i-1)$$

Et enfin si  $type\_res\_inter\_gr\_ecs = 0$  alors :

$$T_{4\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{4\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_4 - V_p(i)) + T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_4}$$

$$T_{3\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_3 - V_p(i)) + T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_3} \quad (37)$$

$$T_{2\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{2\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_2 - V_p(i)) + T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times V_p(i)}{V_2}$$

$$T_{1\_puis\_ecs}(i) = \frac{T_{1\_puis\_ecs}(i-1) \times (V_1 - V_p(i)) + T_{retour\_pertes}(i) \times V_p(i)}{V_1}$$

Avec à la première itération :

$$T_{z\_puis\_ecs}(i-1) = T_z(h-1) \quad (38)$$

Une fois ces températures calculées, l'algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012 est appliqué.

### 3.3. A la fin de la boucle itérative

A la fin de la boucle itérative, il faut définir les besoins reportés au pas de temps suivant à transmettre au module FWM, il est donc défini :

$$Besoin_{reporté}(h) = Q_{report}(Nb_{iter}) \quad (39)$$

Et :

$$V_p(h) = \sum_{i=1}^{Nbiter} V_p(i) \quad (40)$$

Et pour les températures du ballon tampon à la fin de cette étape :

$$T_{z\_Nbiter\_ecs}(h) = T_{z\_puis\_ecs}(Nbiter\_ecs) \quad (41)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Remarque : une alerte sur le report d'énergie a été ajoutée.

Le nombre d'heures pendant lequel l'énergie reportée est non nulle s'exprime de la façon suivante :

Initialisation :  $Nbh_{report\_e} = 0$

Si  $Q_{w\_sto\_unit\_report}(h) > 0,001$

$$Nbh_{report\_e}(h) = Nbh_{report\_e}(h-1) + 1$$

Sinon

$$Nbh_{report\_e}(h) = Nbh_{report\_e}(h-1)$$

Si ce nombre dépasse 24, l'extension affichera une alerte.

#### 4. TROISIEME ETAPE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE CHAUFFAGE

Après avoir répondu aux besoins d'ECS, le ballon tampon peut servir à assurer une partie des besoins de chauffage. Dans cette partie sont déterminées la quantité d'énergie fournie par le ballon pour assurer le besoin de chauffage et les températures à l'intérieur du ballon après puisage. Cette étape correspond à la 3<sup>ème</sup> étape de l'assemblage global pour les systèmes COMFORT E PLUS et COMFORT E PLUS XL.

Pour le chauffage, l'énergie est puisée au niveau de la zone 3 du ballon tampon et le retour de la boucle de chauffage est au niveau des zones 1 ou 2 suivant la température de retour de la boucle chauffage.

Comme pour le puisage ECS il est possible de définir le nombre d'itérations pour le puisage chauffage :

$$Nbiter\_ch = Arr_{inf} \left( \frac{1,5}{\min(f_{aux}, 1 - f_{aux})} \right) \quad (42)$$

##### 4.1. Volume puisé pour le chauffage

Si la température de la zone 2 (milieu du ballon) à la fin du puisage ECS est supérieure à la température de retour de la boucle chauffage majorée de 5°C alors la boucle chauffage puise dans le ballon. Sinon le ballon est bypassé et le retour chauffage est directement envoyé au générateur d'appoint.

A la première itération (i=1) :

$$Q_{puisé\_ch\_ballon}(i) = Q_{req\_ch}(h) \quad (43)$$

Si  $T_{2\_Nbiter\_ecs}(h) - T_{retour\_ch} > \Delta T_{chauf\_on}$  alors

$$V_{p\_ch}(i) = \min \left\{ \frac{Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_{3\_Nbiter\_ecs}(h) - T_{\text{retour\_ch}})}; V_1; V_2; V_3 \right\} \quad (44)$$

$$\begin{aligned} & Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i) \\ &= Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i) - V_{p\_ch}(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{3\_Nbiter\_ecs}(h) - T_{\text{retour\_ch}}) \end{aligned} \quad (45)$$

Sinon

$$V_{p\_ch}(i) = 0 \quad (46)$$

$$Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i) = Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i) \quad (47)$$

La boucle itérative continue tant que  $1 < i \leq Nb_{\text{iter\_ch}}$  et  $Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i) \neq 0$ .

Pour les itérations suivantes :

$$Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i) = Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i-1) \quad (48)$$

Et de même si  $T_{2\_puis\_ch}(i-1) - T_{\text{retour\_ch}} > \Delta T_{\text{chauf\_off}}$  alors

$$V_{p\_ch}(i) = \min \left\{ \frac{Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_{3\_puis\_ch}(i-1) - T_{\text{retour\_ch}})}; V_1; V_2; V_3 \right\} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} & Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i) \\ &= Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i) - V_{p\_ch}(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{3\_puis\_ch}(i-1) - T_{\text{retour\_ch}}) \end{aligned} \quad (50)$$

Sinon

$$V_{p\_ch}(i) = 0 \quad (51)$$

$$Q_{\text{report\_ch\_ballon}}(i) = Q_{\text{puisé\_ch\_ballon}}(i) \quad (52)$$

## 4.2. Température pendant puisage chauffage

Le puisage chauffage dans le ballon tampon est représenté comme dans la méthode Th-BCE par un effet piston qui fait remonter les volumes d'eau proportionnellement au volume de puisage.

Après puisage, une zone contient un mélange du volume puisé à la température de la zone inférieure avec le reste de la zone. Cet effet est exprimé comme ci-dessous et les différentes températures dans le ballon sont obtenues.

A la première itération :

$$\begin{aligned} T_{4\_puis\_ch}(1) &= T_{4\_Nbiter\_ecs}(h) \\ T_{3\_puis\_ch}(1) &= \frac{T_{3\_Nbiter\_ecs}(h) \times (V_3 - V_{p\_ch}(i)) + T_{2\_Nbiter\_ecs}(h) \times V_{p\_ch}(i)}{V_3} \end{aligned} \quad (53)$$

Si  $T_{retour\_ch} > T_{1\_Nbiter\_ecs}(h)$  alors :

$$T_{2\_puis\_ch}(1) = \frac{T_{2\_Nbiter\_ecs}(h) \times (V_2 - V_{p\_ch}(i)) + T_{retour\_ch} \times V_{p\_ch}(i)}{V_2} \quad (54)$$

$$T_{1\_puis\_ch}(1) = T_{1\_Nbiter\_ecs}(h)$$

Sinon :

$$T_{2\_puis\_ch}(1) = \frac{T_{2\_Nbiter\_ecs}(h) \times (V_2 - V_{p\_ch}(i)) + T_{1\_Nbiter\_ecs} \times V_{p\_ch}(i)}{V_2} \quad (55)$$

$$T_{1\_puis\_ch}(1) = \frac{T_{1\_Nbiter\_ecs}(h) \times (V_1 - V_{p\_ch}(i)) + T_{retour\_ch} \times V_{p\_ch}(i)}{V_1}$$

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué.

Et pour les itérations suivantes :

$$T_{4\_puis\_ch}(i) = T_{4\_puis\_ch}(i-1)$$

$$T_{3\_puis\_ch}(i) = \frac{T_{3\_puis\_ch}(i-1) \times (V_3 - V_{p\_ch}(i)) + T_{2\_puis\_ch}(i-1) \times V_{p\_ch}(i)}{V_3} \quad (56)$$

Si  $T_{retour\_ch} > T_1(i-1)$  alors :

$$T_{2\_puis\_ch}(i) = \frac{T_{2\_puis\_ch}(i-1) \times (V_2 - V_{p\_ch}(i)) + T_{retour\_ch} \times V_{p\_ch}(i)}{V_2} \quad (57)$$

$$T_{1\_puis\_ch}(i) = T_{1\_puis\_ch}(i-1)$$

Sinon

$$T_{2\_puis\_ch}(i) = \frac{T_{2\_puis\_ch}(i-1) \times (V_2 - V_{p\_ch}(i)) + T_{1\_puis\_ch}(i-1) \times V_{p\_ch}(i)}{V_2} \quad (58)$$

$$T_{1\_puis\_ch}(i) = \frac{T_{1\_puis\_ch}(i-1) \times (V_1 - V_{p\_ch}(i)) + T_{retour\_ch} \times V_{p\_ch}(i)}{V_1}$$

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué.

#### 4.3. A la fin de la boucle itérative

La boucle itérative sur le volume puisé pour le chauffage dans le ballon tampon se termine ici. La dernière valeur de l'énergie sera renvoyée au générateur d'appoint chauffage.

$$Q_{rest\_ch}(h) = Q_{report\_ch\_ballon}(Nb_{iter\_ch}) \quad (59)$$

Le volume total puisé dans le ballon au pas de temps courant est noté de la manière suivante :

$$V_{p\_ch}(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter\_ch}} V_{p\_ch}(i) \quad (60)$$

Et pour les températures du ballon tampon à la fin de cette étape :

$$T_{z\_Nb_{iter\_ch}}(h) = T_{z\_puis\_ch}(Nb_{iter\_ch}) \quad (61)$$

Pour z variant de 1 à 4.

## 5. QUATRIEME ETAPE : CALCUL DE LA BOUCLE SOLAIRE

A partir du rayonnement solaire, l'énergie solaire potentiellement récupérable pour le ballon tampon est calculée.

Pour cette étape, la fiche algorithmique de la « Module solaire » est utilisée. La fiche permettra d'obtenir :

- les températures et le débit circulant dans la boucle solaire et dans la boucle de charge du module SLM ;
- les pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire  $\phi_{vc}^{BS}(h)$  ;
- les consommations électriques des auxiliaires de la boucle solaire  $W_{aux\_charge\_SLM}(h)$  et  $W_{aux\_solaire\_SLM}(h)$ .

## 6. CINQUIEME ETAPE : APPLICATION DES APPORTS SOLAIRES ET DES PERTES THERMIQUES DU BALLON

Après avoir déterminé les températures après puisage pour l'ECS et pour le chauffage lorsque le ballon couvre également les besoins de chauffage, dans cette partie la nouvelle gamme de températures après la prise en compte des apports solaires et des pertes du ballon tampon est déterminée. Cette étape correspond à la 5<sup>ième</sup> étape de l'assemblage global.

### 6.1. Apports solaires

Contrairement à la méthode Th-BCE 2012, l'application des apports de chaleur par le solaire va se faire en plusieurs itérations afin de bien prendre en compte la variation de débit côté « charge » et la régulation pour la stratification dans le ballon. En revanche, les données calculées dans fiche algorithme de la boucle solaire (débit pompe solaire, température d'entrée dans l'échangeur...) sont valables sur tout le pas de temps  $h$ .

Le nombre d'itérations au cours du pas de temps  $h$  pour l'application des apports solaires est déterminé de sorte que tout le débit nécessaire côté « charge » passe dans l'échangeur en respectant la stratification en zones du ballon (on ne peut puiser que le volume de la plus petite zone à chaque itération) :

$$Nb_{iter,sol}(h) = Arr_{sup} \left( \frac{deb_{SLM}(h)}{\min(V_1, V_2, V_3, V_4)} \right) \quad (62)$$

A chaque itération  $i$ , les volumes transmis à l'échangeur côté « charge » et côté « solaire » sont déterminés :

Côté « charge » :

$$V_t(i) = \min \left[ V_1; V_2; V_3; V_4; deb_{SLM}(h) - \sum_{j=1}^{j=i-1} V_t(j-1) \right] \quad (63)$$

Côté « solaire » :

$$V_{sol}(i) = deb_{sol}(h) \times ratio_{sol}(i) \quad (64)$$

$$ratio_{sol}(i) = \frac{V_t(i)}{deb_{SLM}(h)}$$

Les pertes thermiques de distribution entre le ballon et l'entrée de l'échangeur du module SLM sont calculées à partir de l'équation suivante :

$$V_t(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{1\_isol}(i-1) - T_{1\_pertes}(i-1)) \quad (65)$$

$$= U_{ballon,SLM} \times L_{ballon,SLM} \times \left( \frac{T_{1\_isol}(i-1) + T_{1\_pertes}(i-1)}{2} - \theta_{amb}(h) \right)$$

A la première itération,  $T_{z\_isol}(i-1)$  est la température en zone  $z$  du ballon à la fin de la boucle de puisage ECS ou chauffage, c'est-à-dire :

$$T_{z\_isol}(i-1) = T_{z\_Nbiter\_ecs}(h) \text{ Ou } T_{z\_isol}(i-1) = T_{z\_Nbiter\_ch}(h)$$

Pour  $z$  variant de 1 à 4.

Les pertes thermiques de l'échangeur du module SLM sont calculées en fonction de l'isolation du module. Par simplification, la température moyenne de l'échangeur est calculée comme étant la moyenne entre la température à l'entrée de l'échangeur côté solaire et la température à l'entrée de l'échangeur côté charge. La formule suivante est donc utilisée :

$$Pertes_{SLM}(i) = \frac{\lambda_{isolant}}{e_{isolant}} \times S_{SLM} \times \left( \frac{T_e(h) - T_{1\_pertes}(i-1)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \quad (66)$$

Par la suite, la quantité de chaleur potentiellement récupérable à l'itération  $i$  (lorsque toutes les conditions sont réunies pour qu'il y ait échange) est calculée en prenant compte des pertes de l'échangeur :

$$Q_{sol}^{int}(i) = \varepsilon_{SLM}(h) \times \min(C_w \times \rho_w \times V_t(i); C_{w,gly} \times \rho_{w,gly} \times V_{sol}(i)) \times (T_e(h) - T_{1\_pertes}(i-1)) - Pertes_{SLM}(i) \quad (67)$$

Ensuite la température en sortie de l'échangeur côté « charge »  $T_{Sb}(i)$  est déterminée dans le cas où toutes les conditions sont réunies pour qu'il y ait échange de chaleur.

$$T_{Sb}(i) = T_{1\_pertes}(i-1) + \frac{Q_{sol}^{int}(i)}{C_w \times \rho_w \times V_t(i)} \quad (68)$$

A la fin de l'itération :

$$T_{Sb}(h) = T_{sb}(Nb_{iter\_sol}) \quad (69)$$

Maintenant la condition de gestion/régulation sur la pompe de charge du module SLM est appliquée pour ensuite déterminer si toutes les conditions sont réunies pour que l'échange de chaleur se fasse.

La pompe de charge se déclenche lorsque la température à l'entrée de l'échangeur côté « solaire »  $T_e(h)$  dépasse la température de la zone 1 du ballon de 3°C. La pompe de charge marchera tant que la température en bas du ballon  $T_1(i-1)$  ne dépasse pas la température maximale de 85°C et tant que la température en haut du ballon  $T_4(i)$  ne dépasse pas 95°C. Pour la modélisation, il est admis que la pompe s'arrête si la température du haut du ballon après application de l'apport solaire est supérieure à 95°C :

$$T_{4\_isol}(i) = \frac{T_{4\_isol}(i-1) \times (V_4 - V_t(i)) + T_{sb}(i) \times V_t(i)}{V_4} \leq 95 \quad (70)$$

Si  $passage(h)=1$  ET  $T_e(h) \geq T_{1\_isol}(i-1) + 5$  ET  $T_{1\_isol}(i-1) \leq 85$  ET  $T_{4\_isol}(i) \leq 95$  alors :

$$marche_{charge}(i) = 1 \quad (71)$$

Sinon :

$$marche_{charge}(i) = 0 \quad (72)$$

Il est maintenant possible d'appliquer les apports de chaleur par le solaire à l'itération  $i$  :

Si  $marche_{charge}(i) = 1$  ET  $passage(h) = 1$  alors :

L'échange se fait :

$$Q_{sol}(i) = Q_{sol}^{int}(i) \quad (73)$$

Les pertes thermiques de distribution entre la sortie de l'échangeur du module SLM et le ballon sont calculées à partir de l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & V_t(i) \times C_w \times \rho_w \times (T_{sb}(i) - T_{sb,pertes}(i)) \\ &= U_{ballon,SLM} \times L_{SLM,ballon} \times \left( \frac{T_{sb}(i) + T_{sb,pertes}(i)}{2} - \theta_{amb}(h) \right) \end{aligned} \quad (74)$$

Selon la température en sortie de l'échangeur côté « charge », le retour se fait soit en zone 2 du ballon, soit en zone 4 du ballon lorsque la température de retour dépasse la température de la zone 4 de 3°C.

Si  $T_{sb,pertes}(i) \geq T_{4\_isol}(i-1) + 3$  alors :

$$\begin{aligned} T_{4\_isol}(i) &= \frac{T_{4\_isol}(i-1) \times (V_4 - V_t(i)) + T_{sb,pertes}(i) \times V_t(i)}{V_4} \\ T_{3\_isol}(i) &= \frac{T_{3\_isol}(i-1) \times (V_3 - V_t(i)) + T_{4\_isol}(i-1) \times V_t(i)}{V_3} \\ T_{2\_isol}(i) &= \frac{T_{2\_isol}(i-1) \times (V_2 - V_t(i)) + T_{3\_isol}(i-1) \times V_t(i)}{V_2} \\ T_{1\_isol}(i) &= \frac{T_{1\_isol}(i-1) \times (V_1 - V_t(i)) + T_{2\_isol}(i-1) \times V_t(i)}{V_1} \end{aligned} \quad (75)$$

Sinon :

$$\begin{aligned}
 T_{4\_isol}(i) &= T_{4\_isol}(i-1) \\
 T_{3\_isol}(i) &= T_{3\_isol}(i-1) \\
 T_{2\_isol}(i) &= \frac{T_{2\_isol}(i-1) \times (V_2 - V_t(i)) + T_{Sb,perles}(i) \times V_t(i)}{V_2} \\
 T_{1\_isol}(i) &= \frac{T_{1\_isol}(i-1) \times (V_1 - V_t(i)) + T_{2\_isol}(i-1) \times V_t(i)}{V_1}
 \end{aligned} \tag{76}$$

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué.

Sinon :

Il n'y a pas d'échange :

$$Q_{sol}(i) = 0 \tag{77}$$

$$\begin{aligned}
 T_{4\_isol}(i) &= T_{4\_isol}(i-1) \\
 T_{3\_isol}(i) &= T_{3\_isol}(i-1) \\
 T_{2\_isol}(i) &= T_{2\_isol}(i-1) \\
 T_{1\_isol}(i) &= T_{1\_isol}(i-1)
 \end{aligned} \tag{78}$$

Remarque : une condition supplémentaire sur la charge solaire a été rajoutée, si la température de retour vers le ballon  $T_{Sb,perles}(i)$  est inférieure à la température de la partie basse du ballon  $T_{1\_isol}(i)$  alors il n'y a pas d'échange, les apports solaires sont nuls et les températures du ballon restent inchangés.

## 6.2. Pertes ballon

Après la prise en compte des apports solaires, les pertes du ballon à appliquer à chaque zone sont déterminées puis les températures après application des pertes du ballon :

$$Pe_z(h) = U_z \times [T_z(h-1) - \theta_{amb}(h)] \tag{79}$$

Pour z variant de 1 à 4.

Et pour les températures à la fin de cette étape :

$$T_{z\_isol\_Nbiterisol}(h) = T_{z\_isol}(h) - \frac{Pe_z(h)}{C_w \times \rho_w \times V_z} \tag{80}$$

Pour z variant de 1 à 4.

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué et les pertes thermiques horaires du ballon et l'énergie solaire horaire transmise au ballon tampon sont déterminées :

Sinon :

$$Pe(h) = \sum_{z=1}^4 Pe_z(h) \quad (81)$$

$$\text{et } Q_{sol}(h) = \sum_{i=1}^{Nbiter_{sol}} Q_{sol}(i) \quad (82)$$

Et enfin pour finir, la température moyenne du ballon tampon renvoyée au générateur d'appoint est déterminée. Elle correspond à la moyenne temporelle des températures de la zone concernée par le piquage vers le générateur au pas de temps précédent et après la prise en compte des apports solaires.

Pour un piquage retour vers le générateur en zone 3 :

$$T_{moy\_bal\_appoint}(h) = \frac{T_3(h-1) + T_{3\_isol\_Nbiterisol}(h)}{2} \quad (83)$$

Pour un piquage en zone 1 :

$$T_{moy\_bal\_appoint}(h) = \frac{T_1(h-1) + T_{1\_isol\_Nbiterisol}(h)}{2} \quad (84)$$

## 7. SIXIEME ETAPE : CALCUL DE L'ENERGIE A FOURNIR PAR L'APPOINT

### 7.1. Calcul de l'indice de programmation de l'appoint du ballon : $f_{ap}$

Selon le principe de gestion du générateur d'appoint (fonctionnement de nuit ou fonctionnement permanent), il est autorisé ou non de fournir de l'énergie au ballon.

Si  $type\_gestion\_appoint = 1$  alors

si  $23 < Heure\_legal < 5$  alors

$$f_{ap}(h) = 1 \quad (85)$$

Sinon

$$f_{ap}(h) = 0 \quad (86)$$

Sinon

$$f_{ap}(h) = 1 \quad (87)$$

### 7.2. Calcul de l'énergie requise au niveau de l'appoint

Si  $f_{ap}(h) = 0$  alors  $Q_{req\_sto\_appoint}(h) = 0$ . Dans le cas contraire,  $Q_{req\_sto\_appoint}(h)$  est calculé comme suit. Le dispositif de régulation du ballon se base sur la température relevée par la sonde de température qui se trouve au milieu du ballon. Le dispositif chauffant devra se déclencher si :

$$Q_{puis\_ecs}(h) > 0$$

$$\text{Ou } T_{3\_isol\_Nbiterisol}(h) < \theta_{c\_ap} - \Delta\theta_{c\_ap}$$

$$\text{Ou } \theta_{c\_ap} - \Delta\theta_{c\_ap} \leq T_3(h-1) < \theta_{c\_app} \text{ et } T_3(h-2) \leq T_3(h-1)$$

Les deux dernières conditions sont introduites pour tenir compte de l'hystérésis de la régulation.

L'énergie requise à fournir par l'appoint est donnée par les équations suivantes :

$$Q_{req\_sto\_appoint\_zone\_3}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_3 \times (\theta_{c\_ap} - T_{3\_isol\_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (88)$$

$$Q_{req\_sto\_appoint\_zone\_4}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_4 \times (\theta_{c\_ap} - T_{4\_isol\_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (89)$$

$$Q_{req\_sto\_appoint}(h) = Q_{req\_sto\_appoint\_zone\_3}(h) + Q_{req\_sto\_appoint\_zone\_4}(h) \quad (90)$$

Si les conditions de déclenchement de l'appoint ne sont pas remplies alors :

$$Q_{req\_sto\_appoint}(h) = 0 \quad (91)$$

## 8. SEPTIEME ETAPE : CALCUL DES TEMPERATURES A LA FIN DU PAS DE TEMPS H

Enfin pour finir, dans cette partie la gamme de températures après prise en compte de l'apport d'énergie de l'appoint est déterminée. A cette étape, qui correspond à la 7<sup>ième</sup> étape de l'assemblage global, les pertes, déjà comptabilisées, sont supposées nulles. Seule l'énergie fournie par l'appoint dans la zone prévue sera intégrée au calcul des températures du ballon.

D'où :

$$T_3(h) = T_{3\_isol\_Nbiterisol}(h) + \frac{Q_{fou\_sto\_app}(h)}{C_w \times \rho_w \times V_3} \quad (92)$$

Une fois ces températures calculées, l'**algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012** est appliqué et les températures du ballon  $T_z(h)$  à la fin du pas de temps h sont obtenues.

## ANNEXE 5

### FICHE ALGORITHME « MODULE SOLAIRE »

#### I. Introduction

Le modèle ci-dessous inclus les capteurs, la boucle de fluide entre les capteurs et le module SLM comportant l'échangeur solaire (boucle solaire) et la boucle de fluide entre le module SLM et le ballon tampon (boucle de charge). Ce modèle horaire détermine l'énergie potentiellement récupérable pour le ballon tampon, la consommation des pompes et les éventuelles pertes thermiques vers un volume chauffé.

Ce modèle constitue un module interne à l'extension production stockage.

#### II. Nomenclature du module interne boucle solaire

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables de la boucle solaire Sonnenkraft

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
T1_Nbiter(h)	Température de la zone 1 du ballon après puisage pour l'ECS ou puisage pour le chauffage	°C
Tsb(h-1)et(h-2)	Température à la sortie de l'échangeur du module SLM côté charge	°C
Tb(h-1) et (h-2)	Température à la sortie des capteurs solaires au pas de temps précédents	°C
deb_SLM(h-1)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur SLM côté charge au pas de temps précédent	L/h
deb_sol(h-1)	Débit de fluide solaire passant dans la boucle solaire au pas de temps précédent	L/h
Ts(h-1)	Température à la sortie de l'échangeur du module SLM côté solaire au pas de temps précédent	°C
Td(h-1)	Température à l'entrée des capteurs solaires au pas de temps précédent	°C
marche_sol(h-1)	Indicateur de régulation de la boucle solaire au pas de temps précédent	-
Text(h)	Température extérieure	°C
Isr_star(h)	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m <sup>2</sup>
hauteur_soleil(h)	Gamma : hauteur angulaire du soleil au-dessus de l'horizon	°
azimut_soleil(h)	Azimut du soleil : angle du soleil par rapport au Sud - Positif vers l'Ouest – Négatif vers l'Est	°

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
Beta	Inclinaison du capteur solaire (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale)	°	[0 ; 90]	-
Alpha	Orientation du capteur solaire, sous forme d'angle en ° (0° pour le sud, 90° l'ouest, 270° l'est, et 180° le nord)	°	[0 ; 360]	-

alb	Albédo du sol pour le rayonnement solaire	-	[0 ; 1]	0,2
S_capteur	Surface de capteurs solaires	m <sup>2</sup>	[0 ; +∞[	-
Type_module_SLM	Type de module SLM pris en compte : 0 : Module SLM50HE 1 : Module SLM120HE 2 : Module SLM200HE 3 : Module SLM300HE	-	[0 ; 3]	-
Reference_capteurs	Référence des capteurs solaires pris en compte	-	[0 ; 11]	-
K <sub>θ</sub>	Facteur d'angle d'incidence	-	[0 ; 1]	-
n_0	Rendement optique d'un capteur solaire	-	[0 ; 1]	-
a1	Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire	W/(m <sup>2</sup> .K)	[0 ; +∞[	-
a2	Coefficient de pertes du deuxième ordre d'un capteur solaire	W/(m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup> )	[0 ; +∞[	-
Ue	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	W/(m.K)	[0 ; +∞[	-
Ui	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	W/(m.K)	[0 ; +∞[	-
Le_aller	Longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	m	[0 ; +∞[	-
Le_retour	Longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	m	[0 ; +∞[	-
Li_aller	Longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	m	[0 ; +∞[	-
Li_retour	Longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	m	[0 ; +∞[	-
deb_SLM_nom	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur SLM côté charge	L/h	[0 ; +∞[	-
UA_SLM	Coefficient d'échange de l'échangeur du module SLM	W/K	[0 ; +∞[	-
Pp_charge_SLM	Puissance nominale de la pompe de charge du module SLM	W	[0 ; +∞[	-
Pp_solaire	Puissance nominale de la pompe solaire	W	[0 ; +∞[	-
i_meandre	Indicateur de capteur en méandre	-	[0 ; 1]	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
ε_SLM(h)	Efficacité de l'échangeur du module SLM	-
W_aux_boucle_solaire(h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Φ <sub>vc</sub> _BS(h)	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
Te(h)	Température à l'entrée de l'échangeur du module SLM côté solaire	°C

passage(h)	Indicateur de passage dans l'échangeur du module SLM	-
deb_SLM(h)	Débit d'eau qui passera dans l'échangeur SLM côté charge	L/h
deb_sol(h)	Débit de fluide solaire passant dans la boucle solaire	L/h
Tb(h)	Température à la sortie des capteurs solaires	°C
Td(h)	Température à l'entrée des capteurs solaires	°C
marche_sol(h)	Indicateur de fonctionnement de la boucle solaire	-

Variables internes		
Nom	Description	Unité
deb_sol_nom	Débit nominal de fluide solaire passant dans la boucle solaire	L/h
C_min_SLM(h)	Capacité thermique minimale de l'échangeur du SLM pour la méthode NUT	W/K
C_max_SLM(h)	Capacité thermique maximale de l'échangeur du SLM pour la méthode NUT	W/K
C_SLM(h)	Rapport des capacités thermiques de l'échangeur du SLM pour la méthode NUT	W/K
NUT_SLM(h)	Nombre d'unité de transfert de l'échangeur SLM	-
Mod_circ_SLM(h)	Modulation de la consommation électrique de la pompe suivant le débit qui passera dans l'échangeur SLM côté charge	-
Waux_charge_SLM(h)	Consommation électrique des auxiliaires du module SLM côté charge du ballon, en énergie finale	W
Mod_circ_sol(h)	Modulation de la consommation électrique de la pompe suivant le débit qui passera dans la boucle solaire	-
Waux_solaire_SLM(h)	Consommation électrique des auxiliaires du module SLM côté solaire, en énergie finale	W

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
pw	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
cw	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
pw_gly	Masse volumique de l'eau glycolée	kg/L	1,024
cw_gly	Capacité calorifique massique de l'eau glycolée	Wh/(kg.K)	1,05
Tamb_sol	Température de l'ambiance intérieure en contact avec la boucle solaire	°C	20
ap	Part de la puissance de la pompe transférée au fluide sous forme de chaleur	-	0,5

### III. Description mathématique du module

Cette partie établit pour la boucle solaire et le module SLM :

- les débits circulants dans la boucle de fluide entre les capteurs et le module SLM et la boucle de fluide entre le module SLM et le ballon tampon ;
- la consommation de ses auxiliaires ;
- l'efficacité de l'échangeur ;
- les pertes en volume chauffé de la boucle solaire ;
- l'énergie solaire potentiellement récupérable avec les températures à différents points de la boucle solaire.

#### 1. ENERGIE SOLAIRE POTENTIELLEMENT RECUPERABLE

Une fois tout le volume puisé pour l'ECS et le chauffage, les apports et les pertes à appliquer au ballon seront à déterminer. Pour le moment ce paragraphe permet de déterminer l'énergie solaire potentiellement récupérable.

##### 1.1. Débit dans la boucle solaire

Le calcul de l'irradiance sur le plan des capteurs et du facteur d'angle d'incidence se fait selon la méthode Th-BCE 2012.

En revanche, le calcul de la chaleur transférée à l'échangeur se fait de manière différente pour tenir compte de la régulation spécifique du module SLM. Pour ce système, il faut calculer les températures dans la boucle solaire au niveau de l'entrée des capteurs  $T_d$ , à la sortie des capteurs  $T_b$  et à l'entrée de l'échangeur  $T_e$ .

Tout d'abord le débit de fluide solaire passant dans la boucle entre les capteurs et le module de charge solaire est déterminé. On cherche à atteindre le plus rapidement possible la température de consigne de 63°C. A cette température, le débit nominal sera atteint. Tant que la température dans les capteurs est inférieure à 49°C, le régime est minimal (30% du débit nominal). Ensuite, le débit augmente de 5% par Kelvin jusqu'à atteindre le débit nominal de 20 l/h/m<sup>2</sup> de capteurs. Si  $T_b(h-1) < 49$  alors :

$$deb_{sol}(h) = 0,3 \times deb_{sol\_nom} \quad (1)$$

$$\text{avec } deb_{sol\_nom} = 20 \times S_{\text{capteur}} \quad (2)$$

Sinon :

$$deb_{sol}(h) = \max\left\{0,3 \times deb_{sol\_nom}; \min\left[deb_{sol\_nom}; deb_{sol}(h-1) + Arr_{\text{inf}}(T_b(h-1) - T_b(h-2)) \times 0,05 \times deb_{sol}(h-1)\right]\right\} \quad (3)$$

##### 1.2. Température de la boucle solaire

Pour le moment, les températures dans la boucle solaire sont calculées en supposant que la pompe solaire est en marche (la gestion/régulation de la boucle solaire sera prise en compte par la suite).

Ci-dessous un schéma de principe de la boucle solaire avec les différentes températures de la boucle.

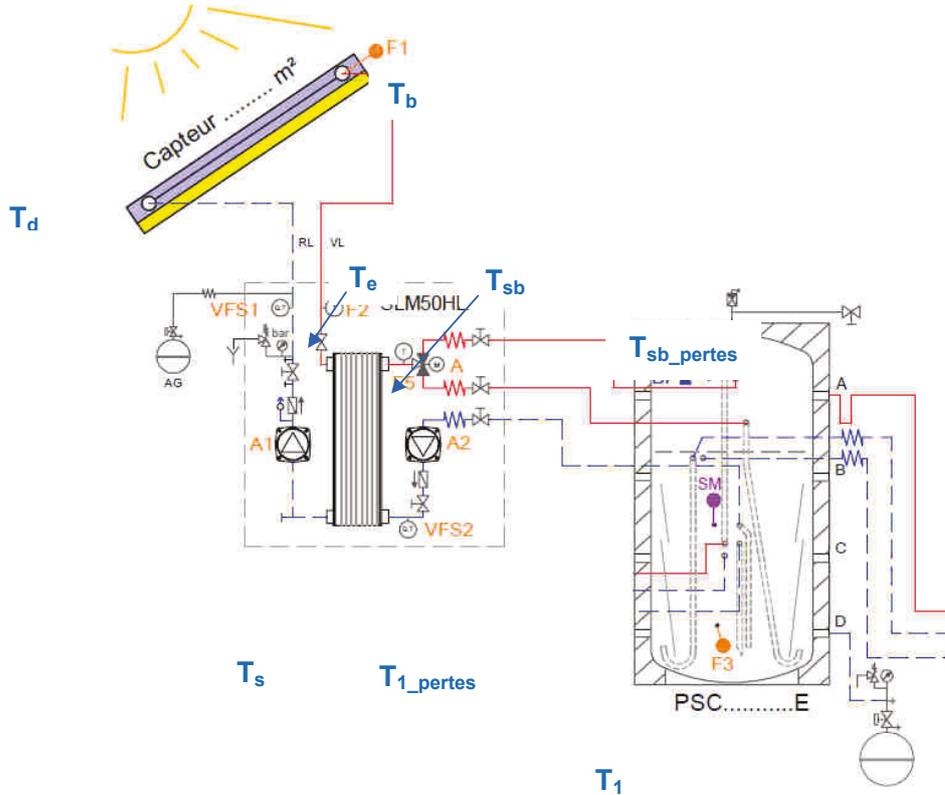


Figure 1 : Schéma de principe boucle solaire

A partir de la température en sortie de l'échangeur à la fin du pas de temps précédent  $T_s(h-1)$ , il est possible de déterminer la température  $T_d(h)$  en appliquant des pertes de réseau. D'où l'équation suivante à résoudre :

$$U_e \times L_{e,aller} \times \left( \frac{T_s(h-1) + T_d(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) + U_i \times L_{i,aller} \times \left( \frac{T_s(h-1) + T_d(h)}{2} - T_{amb\_sol} \right) - \alpha_p \times P_{p\_solaire}(h) = deb_{sol}(h) \times C_{w,gly} \times \rho_{w,gly} \times (T_s(h-1) - T_d(h)) \quad (4)$$

D'où l'équation suivante sur  $T_d(h)$  :

$$T_d(h) = B \times T_s(h-1) + C \quad (5)$$

Avec

$$B = \frac{-U_e \times L_{e,aller} - U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{w,gly} \times \rho_{w,gly}}{U_e \times L_{e,aller} + U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{w,gly} \times \rho_{w,gly}} \quad (6)$$

$$C = \frac{2 \times (\alpha_p \times P_{p\_solaire}(h) + U_e \times L_{e,aller} \times T_{ext}(h) + U_i \times L_{i,aller} \times T_{amb\_sol})}{U_e \times L_{e,aller} + U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{w,gly} \times \rho_{w,gly}} \quad (7)$$

**Hypothèse** : Le réseau qui n'est pas en contact avec l'extérieur est considéré en contact avec une ambiance à 20°C ( $T_{amb\_sol} = 20^\circ\text{C}$ ).

Puis il faut résoudre l'équation d'équilibre au niveau des capteurs pour déterminer la température  $T_b(h)$  en sortie des capteurs :

$$\begin{aligned} & \eta_0 \times S_{\text{capteur}} \times Isr \times K_\theta - a_1 \times S_{\text{capteur}} \times \left( \frac{T_b(h) + T_d(h)}{2} - T_{\text{ext}}(h) \right) \\ & - a_2 \times S_{\text{capteur}} \times \left( \frac{T_b(h) + T_d(h)}{2} - T_{\text{ext}}(h) \right)^2 \\ & = deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}} \times (T_b(h) - T_d(h)) \end{aligned} \quad (8)$$

D'où l'équation suivante du second degré :

$$coef\_a \times X^2 + coef\_b \times X + coef\_c = 0 \quad (9)$$

Avec

$$X = T_b(h) + T_d(h) \quad (10)$$

$$coef\_a = \frac{-a_2 \times S_{\text{capteur}}}{4} \quad (11)$$

$$coef\_b = a_2 \times S_{\text{capteur}} \times T_{\text{ext}}(h) - \frac{a_1 \times S_{\text{capteur}}}{2} - deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}} \quad (12)$$

$$coef\_c = \left( \eta_0 \times S_{\text{capteur}} \times Isr \times K_\theta + a_1 \times S_{\text{capteur}} \times T_{\text{ext}}(h) - a_2 \times S_{\text{capteur}} \times T_{\text{ext}}(h)^2 \right) + 2 \times deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}} \times T_d(h) \quad (13)$$

Cette équation sur X est résolue puis  $T_b(h)$  est déduit.

Enfin, la température de retour vers l'échangeur  $T_e(h)$  est déterminée en appliquant des pertes de réseau :

$$\begin{aligned} & U_e \times L_{e,\text{retour}} \times \left( \frac{T_b(h) + T_e(h)}{2} - T_{\text{ext}}(h) \right) + U_i \times L_{i,\text{retour}} \times \left( \frac{T_b(h) + T_e(h)}{2} - T_{\text{amb\_sol}} \right) \\ & = deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}} \times (T_b(h) - T_e(h)) \end{aligned} \quad (14)$$

D'où l'équation suivante sur  $T_e(h)$  :

$$T_e(h) = D \times T_b(h) + E \quad (15)$$

Avec

$$D = \frac{-U_e \times L_{e,\text{retour}} - U_i \times L_{i,\text{retour}} + 2 \times deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}}}{U_e \times L_{e,\text{retour}} + U_i \times L_{i,\text{retour}} + 2 \times deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}}} \quad (16)$$

$$E = \frac{2 \times (U_e \times L_{e,\text{retour}} \times T_{\text{ext}}(h) + U_i \times L_{i,\text{retour}} \times T_{\text{amb\_sol}})}{U_e \times L_{e,\text{retour}} + U_i \times L_{i,\text{retour}} + 2 \times deb_{\text{sol}}(h) \times C_{w,\text{gly}} \times \rho_{w,\text{gly}}} \quad (17)$$

### 1.3. Gestion/régulation de la boucle solaire

Une fois les températures déterminées, il est possible d'appliquer les conditions de gestion/régulation de la boucle solaire.

Si la température en sortie des capteurs  $T_b(h)$  dépasse la température en bas du ballon à la fin du puisage  $T_1(i=Nb_{\text{iter}})$  de 7°C, la pompe solaire se déclenche. Et tant que la température à l'entrée de l'échangeur  $T_e(h)$  est inférieure à 35°C, le fluide ne passe pas dans l'échangeur, il est bipassé (protection antigel de

l'échangeur). La pompe solaire s'arrête lorsque la différence de température entre la sortie des capteurs  $T_b(h)$  et la température du bas du ballon  $T_{1(i=Nb_{iter})}$  chute en dessous de 5 K.

Si  $[T_b(h) - T_{1_{Nbiter}}(h) \geq 7]$  OU  $[T_b(h) - T_{1_{Nbiter}}(h) \geq 5$  ET  $marche_{sol}(h-1) = 1]$  alors :

$$marche_{sol}(h) = 1 \quad (18)$$

Sinon :

$$marche_{sol}(h) = 0 \quad (19)$$

Si  $[T_e(h) \geq 35$  ET  $marche_{sol}(h) = 1]$  alors :

$$passage(h) = 1 \quad (20)$$

Sinon :

$$passage(h) = 0 \quad (21)$$

#### 1.4. Débit de la boucle de charge et efficacité du module SLM

Il faut maintenant déterminer le débit côté « charge » provenant du ballon qui va passer dans l'échangeur du module SLM pour en déterminer l'efficacité. Ce débit est déterminé dans l'hypothèse où les conditions sont réunies pour qu'il y ait échange de chaleur.

Le débit côté « charge » du module SLM est variable. On cherche à attendre le plus rapidement possible la température de consigne de 60°C. A cette température, le débit nominal sera atteint. Tant que la température dans les capteurs est inférieure à 46°C le régime est minimal (30% du débit nominal. Ensuite, le débit augmente de 5% par Kelvin jusqu'à atteindre le débit nominal de la pompe :

Si  $T_{sb}(h-1) < 46$  alors :

$$deb_{SLM}(h) = 0,3 \times deb_{SLM\_nom} \quad (22)$$

Sinon :

$$deb_{SLM}(h) = \max\{0,3 \times deb_{SLM\_nom}; \min[deb_{SLM\_nom}; deb_{SLM}(h-1) + Arr_{inf}(T_{sb}(h-1) - T_{sb}(h-2)) \times 0,05 \times deb_{SLM}(h-1)]\} \quad (23)$$

L'efficacité se détermine alors de la même manière que pour l'échangeur du module FWM :

$$C_{min,SLM}(h) = \min(C_w \times \rho_w \times deb_{SLM}(h); C_{w,gly} \times \rho_{w,gly} \times deb_{sol}(h)) \quad (24)$$

$$C_{max,SLM}(h) = \max(C_w \times \rho_w \times deb_{SLM}(h); C_{w,gly} \times \rho_{w,gly} \times deb_{sol}(h)) \quad (25)$$

$$C_{SLM}(h) = \frac{C_{min,SLM}(h)}{C_{max,SLM}(h)} \quad (26)$$

$$NUT_{SLM}(h) = \frac{UA_{SLM}}{C_{min,SLM}(h)} \quad (27)$$

$$\varepsilon_{SLM}(h) = \frac{1 - \exp[-NUT_{SLM}(h) \times (1 - C_{SLM}(h))]}{1 - C_{SLM}(h) \times \exp[-NUT_{SLM}(h) \times (1 - C_{SLM}(h))]} \quad (28)$$

## 2. CONSOMMATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES DU MODULE

Pour les consommations de la pompe de charge et de la pompe solaire, les formules utilisées sont les suivantes :

- Pour la pompe de charge

$$W_{aux\_charge\_SLM}(h) = Mod_{circ\_SLM}(h) \times P_{p\_charge\_SLM} \quad (29)$$

$$Mod_{circ\_SLM}(h) = marche_{sol}(h) \times \left( \frac{deb_{SLM}(h)}{deb_{SLM\_nom}} \right)^{2/3} \quad (30)$$

- Pour la pompe solaire

$$W_{aux\_solaire\_SLM}(h) = Mod_{circ\_sol}(h) \times P_{p\_solaire} \quad (31)$$

$$Mod_{circ\_sol}(h) = marche_{sol}(h) \times \left( \frac{deb_{sol}(h)}{deb_{sol\_nom}} \right)^{2/3} \quad (32)$$

## 3. PERTES DE LA BOUCLE SOLAIRE EN VOLUME CHAUFFE

Dans le cas de la boucle solaire, les pertes vers l'ambiance s'expriment de la façon suivante :

$$\phi_{vc}^{BS}(h) = \max \left( \begin{array}{l} U_i \times L_{i,aller} \times \left( \frac{T_s(h-1) + T_d(h)}{2} - T_{amb\_sol} \right) \\ + U_i \times L_{i,retour} \times \left( \frac{T_c(h) + T_e(h)}{2} - T_{amb\_sol} \right), 0 \end{array} \right) \quad (33)$$

ANNEXE 6

BASE DE DONNÉES CARACTÉRISTIQUES PRODUITS

**Capteurs solaires SONNENKRAFT**

Type	-	SK500N eco AL	SK500L eco AL	SK400N- AL	VK25	GK5-HP	GK10-HP	SCE202-M
Surface nette	m <sup>2</sup>	2,290	2,300	1,780	2,220	4,640	9,280	1,920
Rendement optique n0	-	0,763	0,759	0,779	0,605	0,809	0,809	0,755
Coefficient de perte du premier ordre a1	(W/m <sup>2</sup> /K)	3,322	3,365	3,914	0,850	2,858	2,858	3,745
Coefficient de perte du premier ordre a2	(W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup> )	0,018	0,020	0,012	0,010	0,015	0,015	0,015
i_méandre	-	0	0	0	0	1	1	0
albédo	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Débit nominal	l/h/m <sup>2</sup>	20,0	20,0	20,0	30,0	20,0	20,0	30,0

Type	-	SCE202-S	IDMK-AL	IDFK	SKR500	SKR500L
Surface nette	m <sup>2</sup>	1,920	2,320	1,000	2,260	2,260
Rendement optique n0	-	0,729	0,776	0,741	0,820	0,794
Coefficient de perte du premier ordre a1	(W/m <sup>2</sup> /K)	5,459	3,293	3,530	3,821	3,514
Coefficient de perte du premier ordre a2	(W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup> )	0,027	0,011	0,015	0,011	0,015
i_méandre	-	0	0	0	1	1
albédo	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Débit nominal	l/h/m <sup>2</sup>	30,0	20,0	20,0	20,0	20,0

### Module de charge stratifiée SLM

Type	-	SLM50HE	SLM120HE	SLM200HE	SLM300HE
Puissance maxi pompe solaire	W	70	310	310	310
Puissance maxi pompe charge	W	70	130	130	130
Coefficient d'échange	W/K	3404	9996	20030	29964
Débit nominal charge	l/h	860	2050	4200	6200
Lambda isolant	W/K	0,038	0,042	0,042	0,042
Épaisseur isolant	m	0,025	0,025	0,025	0,025
Surface isolée du module	m <sup>2</sup>	1,551	0,407	0,492	0,545

### Ballons tampons

Type	-	PS800-E	PS1000-E	PS1500-E	PS2000-E	PS3000-E	PS5000-E	PS800-E	PS1000-E
V <sub>tot</sub> ballon	l	789	920	1425	2006	2670	4967	789	920
f <sub>aux</sub>	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
UA	W/K	3,1	3,5	3,6	4,0	4,2	4,9	3,1	3,5
Certification ?	-	Non certifié	Certifié						

Lorsque la valeur de UA n'est pas certifiée, elle est re-calculée avec la formule de la méthode Th-BCE pour un ballon solaire UA = 0,16\*(V<sub>tot</sub>\*0,5) à l'intérieur de l'extension.

### Module d'eau sanitaire FWM

Type	-	FWM150	FWM225	FWM15i	FWM30i
Débit pointe charge	l/h	6768	10192	722	1444
Débit pointe bouclage	l/h	6000	9000	900	1800
Débit seuil bouclage	l/h	240	360	60	60
Puissance maxi pompe de charge	W	290	610	42	42
Puissance maxi pompe de bouclage	W	130	130	42	42
Coefficient d'échange	W/K	43554	65589	4465	8930
Lambda isolant	W/K	0,038	0,038	0,038	0,038
Épaisseur isolant	m	0,020	0,020	0,020	0,020
Surface isolée du module	m <sup>2</sup>	0,502	0,664	1,173	1,173