

ANNEXE 4

FICHE ALGORITHME « BALLON HORS-PRESSION »

I. Introduction

La fiche algorithme permet la prise en compte d'un modèle de ballon hors pression qui assure la totalité de la production d'eau chaude sanitaire et parfois une partie des besoins de chauffage.

Les différents modèles de ballon hors pression pris en compte dans cette modélisation sont les suivants :

- ballons HPSU compact, GCU compact, type HYC ou SC sans solaire couplé à un générateur ;
- ballons HPSU compact, GCU compact, type HYC ou SC en mode CESI ;
- ballons HPSU compact, GCU compact, type HYC ou SC en mode SSC.

Lors d'un couplage avec un système solaire, les différents modèles de ballon sont disponibles en modèle BIV et en modèle DB. Le modèle BIV permet un raccordement avec un système solaire sous pression et se caractérise par la présence d'un échangeur supplémentaire en zone basse du ballon. Le modèle DB pour Drain Back (auto-vidangeable) utilise directement l'eau de stockage du ballon et ne nécessite donc pas d'échangeur supplémentaire.

II. Nomenclature du module ballon hors pression

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du modèle de ballon hors pression.

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_ballon_ecs(h)	Demande en ECS transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
Qw_sto_unit_report(h-1)	Energie non assurée au pas de temps h-1, reportée au pas de temps courant	Wh
Qreq_ballon_ch(h)	Demande de chauffage transmise à l'assemblage via la gestion/régulation de la génération.	Wh
deb_sol(h)	Débit de fluide solaire passant dans la boucle solaire	L/h
Te(h)	Température de retour de la boucle solaire dans le ballon	°C
marche_sol(h)	Indicateur de régulation de la boucle solaire	-
Qfou_solaire_moteur(h)	Energie transférée par la boucle solaire du moteur au ballon hors pression	Wh

Qfou_sto_app(h)	Energie transmise au ballon tampon par l'appoint	Wh
Text(h)	Température extérieure	°C
θamb(h)	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
θcw(h)	Température de l'eau froide alimentant les systèmes de production d'ECS	°C
Heure_legale	Heure légale	h
θdepart_ecs	Température de départ de la distribution d'ECS	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
Vtot	Volume réel d'eau du ballon hors pression	L	[1 ; +∞[-
statut_donnee_UA	La valeur du coefficient de pertes thermiques du ballon hors pression vers l'ambiance est une donnée : 0 : Certifiée, 1 : Justifiée par un essai effectué par un laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO, 2 : Par défaut.	-	[0 ; 2]	-
UA_s	Coefficient de pertes thermiques du ballon hors pression	W/K	[0 ; +∞[-
θb_max	Température maximale du ballon hors pression	°C	[70 ; 100]	85
Vtot_app	Volume total du ballon d'appoint	L	[1 ; +∞[-
statut_donnee_UA_app	La valeur du coefficient de pertes thermiques du stockage d'appoint vers l'ambiance est une donnée : 0 : Certifiée, 1 : Justifiée par un essai effectué par un laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO, 2 : Par défaut.	-	[0 ; 2]	-
UA_s_app	Coefficient de pertes thermiques du ballon d'appoint	W/K	[0 ; +∞[-
θb_max_app	Température maximale du ballon d'appoint	°C	[70 ; 100]	85
z_app	Numéro de la zone où se l'échangeur d'appoint dans le ballon d'appoint	-	[3 ; 4]	4

V_tot_hx_ecs	Volume total de l'échangeur d'ECS	L	[1 ; +∞[-
z_haut_ecs	Numéro de la zone où se trouve le haut de l'échangeur d'ECS	-	[3 ; 4]	4
z_bas_ecs	Numéro de la zone où se trouve le bas de l'échangeur d'ECS	-	[1 ; 2]	1
θdepart_ch	Température de départ de la distribution de chauffage	°C	[30 ; 70]	-
UA_hx_ch	Coefficient d'échange de l'échangeur de chauffage	W/K	[0 ; +∞[-
z_haut_ch	Numéro de la zone où se trouve le haut de l'échangeur de chauffage	-	[1 ; 4]	1
z_bas_ch	Numéro de la zone où se trouve le bas de l'échangeur de chauffage	-	[1 ; 2]	1
Type_gestion_appoint	Type de gestion du thermostat d'appoint du ballon : 0 : Chauffage permanent 1 : Chauffage de nuit	-	[0 ; 1]	-
Δθc_ap	Hystérésis du système de régulation de l'appoint ou du générateur seul	°C	[0 ; 10]	-
z_haut_charge	Numéro de la zone où se trouve le haut de l'échangeur de charge	-	[3 ; 4]	4
z_bas_charge	Numéro de la zone où se trouve le bas de l'échangeur de charge	-	[1 ; 2]	1
T_confort_ecs	Température minimale à partir de laquelle le puisage chauffage peut s'effectuer dans le cas d'une configuration SSC	°C	[56 ; 70]	-
statut_boucle_solaire	Choix du type de boucle solaire : 0 : Boucle solaire BIV (boucle solaire déjà définie dans la méthode Th-BCE) 1 : Boucle solaire DB (boucle solaire ROTEX) 2 : Pas de boucle solaire	-	[0 ; 2]	1

Sorties		
Nom	Description	Unité
Qw_sto_unit_report(h)	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
Tz_Nbiter_ecs(h)	Température de la zone du ballon hors pression numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
Tz_Nbiter_app(h)	Température de la zone du ballon d'appoint 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 hors pression numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de puisage chauffage	°C
Qsol(h)	Energie transférée par la boucle solaire au ballon tampon	Wh
Tz_isol(h)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 : 4]) à la fin de la boucle itérative de la boucle solaire	°C
Pertes_ballon(h)	Pertes thermiques du ballon hors pression à la fin du pas de temps h	W
Pe_app(h)	Pertes thermiques du ballon d'appoint 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_ech_charge(h)	Température moyenne vu par l'échangeur de charge après les puisages d'énergie et les apports solaires	°C
Tmoy_bal_app(h)	Température moyenne vu par l'échangeur d'appoint dans le ballon d'appoint	°C
Qreq_sto_app	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
Tz(h)	Température de la zone du ballon hors pression numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C
Tz_app(h)	Température de la zone du ballon d'appoint numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes		
Nom	Description	Unité
Vz	Volume de la zone z du ballon hors pression (z de 1 à 4, Vz est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
Vz'	Volume de la zone z du ballon échangeur (z de 1 à 4, Vz' est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
Vz_app	Volume de la zone z du ballon	L

	échangeur (z de 1 à 4, V_app est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	
Uz	Coefficient de pertes de la zone z du ballon hors pression	W/K
Uz_app	Coefficient de pertes de la zone z du ballon d'appoint	W/K
Nb_z_ecs	Nombre de zones concernées par l'échangeur d'ECS	-
Qw_sto_unit(i)	Besoins d'énergie requis en entrée du ballon au début de l'itération i	Wh
Vp(i)	Volume puisé dans le ballon échangeur pour l'ECS pendant l'itération i	L
Vp_app(i)	Volume puisé dans le ballon d'appoint pour l'ECS pendant l'itération i	L
Vp(h)	Volume puisé dans le ballon échangeur pour l'ECS au pas de temps h	L
Tz'puis(i)	Température de la zone z du ballon échangeur juste après puisage du volume Vp(i) à l'itération i	°C
Tz_equi(i)	Température d'équilibre entre le ballon échangeur et le ballon hors pression au niveau de la zone z après puisage du volume Vp(i) à l'itération i	°C
Tz_puis_ecs(i)	Température de la zone z du ballon hors pression après puisage du volume Vp(i) dans le ballon échangeur et après équilibre à l'itération i	°C
Tz'(i)	Température de la zone z du ballon échangeur après puisage du volume Vp(i) et après équilibre à l'itération i	°C
Tz_puis_app(i)	Température de la zone z du ballon d'appoint après puisage du volume Vp_app(i) à l'itération i	°C
Pez_app(h)	Pertes de la zone z du ballon d'appoint	W
Tz_pe_app(i)	Température de la zone z du ballon d'appoint après application des pertes du ballon	°C
Nb_z_ch	Nombre de zones concernées par l'échangeur de chauffage	-
θpuis_ch(h)	Température de puisage chauffage avec la prise en compte de l'échangeur de chauffage	°C
Qsto_dispo_ch(h)	Energie disponible dans le ballon pour assurer tout ou partie de la demande d'énergie en chauffage d'un SSC	Wh

Q _{max_puis_ch} (h)	Energie maximale que l'on peut puiser dans le ballon pour assurer tout ou partie de la demande d'énergie en chauffage d'un SSC	Wh
T _{z_puis_ch} (i)	Température de la zone z du ballon hors pression après puisage chauffage	°C
T _{z_Nbiter_ch} (h)	Température de la zone z du ballon hors pression à la fin de phase de puisage chauffage	°C
Q _{sol_int} (h)	Quantité de chaleur solaire potentiellement récupérable	Wh
T _{z_isol} (h)	Température de la zone z du ballon hors pression après application des apports solaires	°c
P _{ez} (h)	Pertes de la zone z du ballon hors pression	W
T _{z_isol_Nbiterisol} (h)	Température de la zone z du ballon hors pression après application des apports solaires et pertes du ballon	°C
Nb _{z_charge}	Nombre de zones concernées par l'échangeur de charge	-
f _{ap} (h)	Programmation de l'appoint (1 autorisé, 0 coupé)	-
Nbh_report_e	Nombre d'heures pendant lequel le report d'énergie est non nul	h
θ _{c_app}	Température de consigne du ballon d'appoint	°C

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
ρ _w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c _w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
θ _{c_ballon}	Température de consigne du ballon hors pression	°C	55

III. Description mathématique du module

Cette partie établit pour le ballon hors pression :

- ses caractéristiques ;
- l'énergie puisée pour répondre aux besoins ECS et les températures après puisage ;
- l'énergie puisée pour répondre aux besoins de chauffage et les températures après puisage ;
- ses températures après application des apports de chaleur par la boucle 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 HORS PRESSION

Pour le ballon hors pression, 4 zones de même volume sont considérées :

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = \frac{V_{tot}}{4} \quad (1)$$

De plus le ballon hors pression présente plusieurs échangeurs dont la position dépend du modèle de ballon. Les différents échangeurs sont les suivants :

- l'échangeur d'ECS qui permet la production d'ECS en semi-instantané en puisant dans le ballon l'énergie nécessaire pour répondre aux besoins d'ECS à la température demandée par le réseau de distribution du groupe ou intergroupe ;
- l'échangeur de charge du ballon qui permet à la chaudière à condensation ou à la pompe à chaleur de remonter le ballon en température ;
- l'échangeur de chauffage suivant les modèles ;
- l'échangeur pour la boucle solaire ou pour l'appoint (lorsqu'il n'y a pas de boucle solaire) dans les cas de ballon BIV.

Pour les différents échangeurs les indicateurs suivants sont définis :

- z_bas_ecs et z_haut_ecs : numéro des zones où se trouve le bas et le haut de l'échangeur d'ECS ;
- z_bas_ch et z_haut_ch : numéro des zones où se trouve le bas et le haut de l'échangeur de chauffage ;
- z_bas_charge et z_haut_charge : numéro des zones où se trouve le bas et le haut de l'échangeur de charge.

Les coefficients de pertes de chaque zone sont quant à eux calculés selon la méthode Th-BCE 2012. Les calculs du coefficient de perte du ballon et de chaque zone du ballon sont celles de la méthode Th-BCE.

On considère que le capteur de température du ballon se situe en zone 3, ainsi pour la régulation ce sera la température en zone 3 qui sera considérée.

2. PREMIERE ETAPE : BESOINS D'ECS AUX BORNES DU BALLON HORS PRESSION

Le besoin horaire aux bornes du ballon est égal au besoin horaire augmenté des pertes de réseau calculé par la méthode Th-BCE 2012.

Il est possible de coupler plusieurs assemblages entre eux et ainsi les besoins aux bornes de l'assemblage production stockage sont divisés par le nombre d'assemblage identiques :

$$Q_{req_ballon_ecs}(h) = \frac{Q_{req_ecs}(h)}{Nb_{ballons}} \quad (2)$$

3. ÉTAPE 1TER : BESOINS D'ECS AUX BORNES DE L'ASSEMBLAGE

Cette étape s'inscrit dans le cas d'un assemblage avec appoint dans ballon de stockage séparé. Cet assemblage décrit le couplage de plusieurs ballons solaires hors pression, mais il n'y aura qu'un ballon d'appoint.

Ainsi le besoin horaire aux bornes de l'assemblage est égal au besoin horaire augmenté des pertes de réseau calculé par la méthode Th-BCE 2012, il n'est pas nécessaire de diviser suivant le nombre d'assemblage :

Il est possible de coupler plusieurs assemblages entre eux et ainsi les besoins aux bornes de l'assemblage production stockage sont divisés par le nombre d'assemblage identiques :

$$Q_{req_ballon_ecs}(h) = Q_{req_ecs}(h) \quad (3)$$

4. DEUXIEME ÉTAPE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE POUR L'ECS

Dans cette partie, l'énergie puisée pour répondre aux besoins ECS et les températures du ballon après puisage sont déterminées. Le report d'énergie est également déterminé. Cette étape correspond à la 2^{ème} étape de l'assemblage global.

4.1. Volume puisé pour l'ECS

Pour modéliser le puisage ECS à l'aide d'un échangeur, cet échangeur est modélisé comme un ballon de stockage ECS qui sera situé dans le ballon hors pression et dont le volume correspondra au volume de l'échangeur.

Ce ballon sera modélisé comme un ballon de la méthode Th-BCE avec 4 zones identiques dans lequel l'algorithme de puisage ECS de la méthode Th-BCE est appliqué avec quelques modifications néanmoins. Ces 4 zones seront en contact respectivement avec les 4 zones du ballon hors pression. Pour le ballon échangeur les volumes des différentes zones sont :

$$V'_1 = V'_2 = V'_3 = V'_4 = \frac{V_{tot_hx_ecs}}{4} \quad (4)$$

Le nombre d'itérations pour le puisage ECS est défini de la manière suivante :

$$Nb_{iter_ecs} = Arr.inf \left(\frac{Nb_{z_ecs} \times V_{tot}}{V_{tot_hx_ecs}} \right) \quad (5)$$

L'indicateur suivant permet de déterminer sur quelles zones s'étend l'échangeur de puisage ECS :

$$Nb_{z_ecs} = z_{haut_ecs} - z_{bas_ecs} + 1 \quad (6)$$

Pour la première itération (i = 1) :

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{req_ecs}(h) + Q_{w_sto_unit_report}(h-1) \quad (7)$$

Si la demande d'énergie ne peut être satisfaite, l'énergie à puiser sera reportée à l'itération suivante. De plus les températures du ballon échangeur T'_z sont égales aux températures du ballon hors pression T_z au début du pas de temps :

$$T'_z(i-1) = T_z(h-1)$$

Pour z allant de 1 à 4

Si $T_4'(i-1) > \theta_{depart_ecs}$ alors

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_4'(i-1) - \theta_{cw}(h))}; V_4'\right) \quad (8)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (T_4'(i-1) - \theta_{cw}(h)) \quad (9)$$

Sinon

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

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (11)$$

La boucle itérative continue tant que $1 < i \leq Nb_{iter_ecs}$ et $Q_{w_sto_unit_report}(i) \neq 0$.

Pour les itérations suivantes :

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{w_sto_unit_report}(i-1) \quad (12)$$

Et de même si $T_4'(i-1) > \theta_{depart_ecs}$ alors

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_4'(i-1) - \theta_{cw}(h))}; V_4'\right) \quad (13)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (T_4'(i-1) - \theta_{cw}(h)) \quad (14)$$

Sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (15)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (16)$$

La boucle itérative sur le volume puisé dans le ballon échangeur se termine ici. La dernière valeur de l'énergie $Q_{w_sto_unit_report}(Nb_{iter_ecs})$ sera reportée au pas de temps suivant.

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

$$V_p(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter_ecs}} V_p(i) \quad (17)$$

De plus, après chaque puisage $V_p(i)$ il sera nécessaire de calculer les nouvelles températures à l'intérieur du ballon échangeur et du ballon hors pression.

Remarque : Une alerte sur le report d'énergie est définie :

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.

4.2. Températures pendant puisage ECS

Le puisage dans le ballon échangeur 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 la température dans le ballon échangeur après puisage ECS $T'_{z_puis}(i)$ est obtenue :

$$T'_{z_puis}(i) = \frac{T'_z(i-1) \times (V'_z - V_p(i)) + T'_{z-1}(i-1) \times V_p(i)}{V'_z} \quad (18)$$

Pour z allant de 1 à Nb_{z_ecs}

Si $z = 1$ (zone inférieure), $T'_{z-1}(i-1)$ est remplacée par la température de l'eau entrant dans le ballon qui est de l'eau froide à $\theta_{cw}(h)$.

Après avoir calculé la température du ballon échangeur suite au puisage ECS, chaque zone du ballon échangeur étant en contact avec le ballon hors pression plus chaud celui-ci lui transfère de l'énergie. Nous considérons que ce transfert atteindra un équilibre et nous ne tiendrons pas compte du coefficient d'échange de l'échangeur, celui-ci n'apportant qu'une notion temporelle au transfert. La température d'équilibre est définie par la formule suivante :

$$C_w \times \rho_w \times V'_z \times (T'_{z_eq}(i) - T'_{z_puis}(i)) = C_w \times \rho_w \times V_z \times (T_z(h-1) - T'_{z_eq}(i)) \quad (19)$$

$$T'_{z_eq}(i) = \frac{V'_z \times T'_{z_puis}(i) + V_z \times T_z(h-1)}{V'_z + V_z} \quad (20)$$

Pour z allant de 1 à Nb_{z_ecs}

Et ainsi les températures du côté du ballon échangeur $T'_z(i)$ et du ballon hors pression $T_{z_puis_ecs}(i)$ sont :

$$T_{z_puis_ecs}(i) = T'_{z_eq}(i) \quad (21)$$

$$T'_z(i) = T_{z_eq}(i) \quad (22)$$

Une fois ces températures calculées, on applique l'algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012 sur le ballon hors pression.

Et les températures du ballon hors pression à la fin de cette étape sont :

$$T_{z_Nbiter_ecs}(h) = T_{z_puis_ecs}(Nb_{iter_ecs}) \quad (23)$$

Pour z variant de 1 à Nb_{z_ecs}

5. ÉTAPE 2BIS : CALCUL DE L'ÉNERGIE FOURNIE ET DES TEMPÉRATURES APRES PUISAGE POUR LE CHAUFFAGE

Après avoir répondu aux besoins d'ECS, le ballon tampon peut servir à assurer une partie des besoins de chauffage. Dans cette partie la quantité d'énergie fournie par le ballon pour assurer le besoin de chauffage et les températures à l'intérieur du ballon après puisage seront déterminées. Cette étape correspond à l'étape 2bis de l'assemblage global.

5.1. Énergie puisée dans le ballon hors pression pour le chauffage

Pour répondre aux besoins de chauffage, le puisage pour le chauffage s'effectue de la même manière que le puisage pour le chauffage définit dans la méthode Th-BCE.

Ainsi on considère que l'énergie puisée dans le ballon par l'échangeur de chauffage ne pourra excéder l'énergie contenue dans la zone sur laquelle l'échangeur de chauffage est présent et à condition que la température de l'eau chaude du ballon soit supérieure à la température attendue par la génération pour le chauffage et supérieure à la température de confort ECS du ballon pour toujours garantir une production ECS suffisante.

Ainsi :

Si $T_{z_Nbiter_ecs}(h) > \theta_{puis_ch}(h)$ et $T_{z_Nbiter_ecs}(h) > T_{confort_ecs}$

$$Q_{sto_dispo_ch}(h) = \sum_{z_bas_ch}^{z_haut_ch} [C_w \times \rho_w \times V_z \times \max(T_{z_Nbiter_ecs}(h) - \max(T_{confort_ecs}; \theta_{puis_ch}(h)); 0)] \quad (24)$$

$$\text{Avec } \theta_{puis_ch}(h) = \theta_{depart_ch} + \frac{Q_{req_ch}(h)}{UA_{hx_ch}} \quad (25)$$

De plus au pas de temps h, l'énergie maximale qu'il est possible de puiser dans le ballon s'exprime de la manière suivante :

$$Q_{max_puis_ch}(h) = \min(Q_{req_ch}(h); Q_{sto_dispo_ch}(h)) \quad (26)$$

Et enfin si $Q_{req_ch}(h) > 0$ alors

$$Q_{puis_ch}(h) = Q_{max_puis_ch}(h) \quad (27)$$

$$Q_{rest_ch}(h) = Q_{req_ch}(h) - Q_{puis_ch}(h) \quad (28)$$

Sinon

$$Q_{puis_ch}(h) = 0 \quad (29)$$

$$Q_{rest_ch}(h) = Q_{req_ch}(h) \quad (30)$$

Pour le premier pas de temps $Q_{rest_ch}(1) = 0$.

5.2. Températures après puisage chauffage

Pour déterminer les températures après puisage, le puisage d'énergie pour le chauffage s'effectue dans la zone la plus haute de l'échangeur de chauffage :

$$T_{z_puis_ch}(h) = T_{z_Nbiter_ecs}(h) - \left(\frac{Q_{puis_ch}(h)}{C_w \times \rho_w \times V_z} \right) \quad (31)$$

Avec $z = z_{haut_ch}$

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

Et les températures à la fin de cette étape sont :

$$T_{z_Nbiter_ch}(h) = T_{z_puis_ch}(h) \quad (32)$$

Pour z variant de 1 à 4.

6. ÉTAPE 2TER : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPÉRATURES APRES PUISAGE POUR L'ECS DANS LE CAS D'UN APPOINT DANS UN BALLON DE STOCKAGE SEPRE

6.1. Caractéristiques du ballon d'appoint

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.

6.2. Volume puisé pour l'ECS

Les mêmes étapes de la méthode Th-BCE sont appliquées ici. D'abord l'algorithme de puisage est appliqué au ballon d'appoint pour répondre au besoin d'ECS avec le calcul du volume puisé $V_{p_app}(i)$ avec les hypothèses suivantes :

- $V_{p_app}(i)$ doit être inférieur à la somme des zones supérieures des ballons échangeur de chaque ballon hors pression :

$$V_{p_app}(i) < Nb_{ballons} \times V_4'$$

- le nombre d'itérations est égal au nombre d'itérations défini dans la deuxième étape.

Par la suite, l'algorithme de puisage propre au ballon hors pression est appliqué en considérant que le volume puisé dans le ballon échangeur est égal au volume puisé dans le ballon d'appoint divisé par le nombre de ballons :

$$V_p(i) = \frac{V_{p_app}(i)}{Nb_{ballons}} \quad (33)$$

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

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

Initialisation : $Nbh_{report_e} = 0$

Si $Q_{w_sto_unit_report}(h) > 0,001$

Si $Nbh_{report_e}(h-1) \neq 0$

$$Nbh_{report_e}(h) = Nbh_{report_e}(h-1) + 1$$

Sinon

$$Nbh_{report_e}(h) = 1$$

Sinon

$$Nbh_{report_e}(h) = 0$$

Si ce nombre dépasse 5, l'extension affichera une alerte.

6.3. Températures pendant puisage ECS

Le volume puisé pour répondre au besoin est calculé puis les températures à l'intérieur du ballon d'appoint en considérant que l'eau entrant dans la partie basse du ballon d'appoint provient du ballon échangeur et donc à la température $T_4'(i-1)$.

Pour le ballon d'appoint les températures suivantes sont alors :

$$T_{z_puis_app}(i) = \frac{T_{z_puis_app}(i-1) \times (V_{z_app} - V_{p_app}(i)) + T_{(z-1)_puis_app}(i-1) \times V_{p_app}(i)}{V_{z_app}} \quad (34)$$

Pour z allant de 1 à 4

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

Et les températures du ballon d'appoint à la fin de cette étape sont :

$$T_{z_Nbiter_app}(h) = T_{z_puis_app}(Nb_{iter_ecs}) \quad (35)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Pour les températures dans le ballon échangeur et le ballon hors pression, les mêmes équations définies dans la deuxième étape seront reprises.

7. TROISIEME ETAPE : CALCUL DE LA BOUCLE SOLAIRE

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

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

La fiche permettra d'obtenir :

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

Il est également possible d'utiliser la boucle solaire définie dans la méthode Th-BCE. Dans ce cas le composant renvoie :

$$Q_{fou_solaire_moteur}(h)$$

8. QUATRIEME ETAPE : APPLICATION DES APPORTS SOLAIRES ET DES PERTES THERMIQUES DU BALLON

8.1. Apports solaires

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 sera déterminée.

Contrairement à la méthode Th-BCE 2012, l'application des apports de chaleur par le solaire va se faire dans plusieurs zones du ballon en fonction de la température de retour de la boucle solaire dans le ballon hors pression.

La quantité de chaleur potentiellement récupérable un niveau d'un ballon est calculée (lorsque toutes les conditions sont réunies pour que la boucle solaire fonctionne) :

$$Q_{sol}^{int}(h) = \frac{C_w \times \rho_w \times deb_{sol}(h) \times (T_e(h) - T_{1_Nbiter_ecs}(h))}{Nb_{ballons}} \quad (36)$$

Si $marche_{sol}(h) = 1$ alors l'échange se fait :

$$Q_{sol}(h) = Q_{sol}^{int}(h) \quad (37)$$

Selon la température de retour des capteurs, le retour se fait soit en zone 1, soit en zone 2 ou soit en zone 3 du ballon. Si la température de retour est inférieure à 30°C, le retour se fait en zone 1. Si la température de retour est comprise entre 30 et 70°C, le retour se fait en zone 2. Si elle est supérieure à 70 °C, le retour se fait en zone 3.

Si $T_e(h) < 30$ alors :

$$\begin{aligned} T_{4_isol}(h) &= T_{4_Nbiter}(h) \\ T_{3_isol}(h) &= T_{3_Nbiter}(h) \\ T_{2_isol}(h) &= T_{2_Nbiter}(h) \end{aligned} \quad (38)$$

$$T_{1_isol}(h) = T_{1_Nbiter}(h) + \frac{Q_{sol}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_1 + V_1')}$$

Si $30 \leq T_e(h) < 70$

$$\begin{aligned} T_{4_isol}(h) &= T_{4_Nbiter}(h) \\ T_{3_isol}(h) &= T_{3_Nbiter}(h) \end{aligned} \quad (39)$$

$$T_{2_isol}(h) = T_{2_Nbiter}(h) + \frac{Q_{sol}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_2 + V_2')}$$

$$T_{1_isol}(h) = T_{1_Nbiter}(h)$$

Si $T_e(h) \geq 70$

$$T_{4_isol}(h) = T_{4_Nbiter}(h)$$

$$T_{3_isol}(h) = T_{3_Nbiter}(h) + \frac{Q_{sol}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_3 + V_3')} \quad (40)$$

$$T_{2_isol}(h) = T_{2_Nbiter}(h)$$

$$T_{1_isol}(h) = T_{1_Nbiter}(h)$$

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 :

$$Q_{sol}(h) = 0 \quad (41)$$

$$T_{4_isol}(h) = T_{4_Nbiter}(h)$$

$$T_{3_isol}(h) = T_{3_Nbiter}(h) \quad (42)$$

$$T_{2_isol}(h) = T_{2_Nbiter}(h)$$

$$T_{1_isol}(h) = T_{1_Nbiter}(h)$$

De plus il est possible d'utiliser la boucle solaire de la méthode Th-BCE. Dans ce cas le calcul des températures après la prise en compte des apports solaires se fait de la manière suivante :

$$T_{4_isol}(h) = T_{4_Nbiter}(h)$$

$$T_{3_isol}(h) = T_{3_Nbiter}(h)$$

$$T_{2_isol}(h) = T_{2_Nbiter}(h) \quad (43)$$

$$T_{1_isol}(h) = T_{1_Nbiter}(h) + \frac{Q_{fou_solaire_moteur}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_1 + V_1')}$$

Dans le cas d'un raccordement de plusieurs ballons à une unique boucle solaire, les apports solaires du moteur sont à diviser par le nombre de ballons hors pression.

$$Q_{fou_solaire_moteur}(h) \leftarrow \frac{Q_{fou_solaire_moteur}(h)}{Nb_{ballons}}$$

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

8.2. Pertes ballon

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

$$Pe_z(h) = U_z \times [T_z(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (44)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Et les températures à la fin de cette étape sont :

$$T_{z_isol_Nbiterisol}(h) = T_{z_isol}(h) - \frac{Pe_z(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_z + V'_z)} \quad (45)$$

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 sont calculées :

$$Pe(h) = \sum_{z=1}^4 Pe_z(h) \quad (46)$$

Et enfin pour finir, la température moyenne du ballon hors pression vue par l'échangeur de charge est recalculée de la même façon que la méthode Th-BCE, cette température sera renvoyée au générateur d'appoint.

Pour cela l'indicateur suivant est défini et permet de déterminer sur quelles zones s'étend l'échangeur de charge :

$$Nb_{z_charge} = z_{haut_charge} - z_{bas_charge} + 1 \quad (47)$$

Suivant la valeur de cet indicateur qui peut varier de 2 à 4 pour l'échangeur de charge, la moyenne temporelle des températures de chaque zone au pas de temps précédent et après la prise en compte des apports solaires est déterminée :

$$T_{moy_ech_charge}(h) = \frac{\sum_{z=z_{bas_charge}}^{z_{haut_charge}} \frac{T_z(h-1) + T_{z_isol_Nbiterisol}(h)}{2}}{Nb_{z_charge}} \quad (48)$$

Néanmoins, étant donné la stratification du ballon hors pression et sachant que cette température correspond à la température renvoyée au générateur pour le calcul de ces consommations, uniquement la zone haute de l'échangeur est considérée pour le calcul de la température moyenne. La formule suivante est donc obtenue, la zone considérée étant la zone haute de l'échangeur (zone 3 ou 4) :

$$T_{moy_ech_charge}(h) = \frac{T_z(h-1) + T_{z_isol_Nbiterisol}(h)}{2} \quad (49)$$

9. CINQUIEME ETAPE : CALCUL DE L'ENERGIE A FOURNIR PAR L'APPOINT

9.1. 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

$$f_{ap}(h) = 1 \quad (50)$$

Sinon

$$f_{ap}(h) = 0 \quad (51)$$

Sinon

$$f_{ap}(h) = 1 \quad (52)$$

9.2. Calcul de l'énergie requise au niveau de l'appoint

Si $f_{ap}(h) = 0$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = 0 \quad (53)$$

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 :

$$T_{3_isol_Nbiterisol}(h) < \theta_{c_ballon} - \Delta\theta_{c_ap} \quad (54)$$

Ou

$$\theta_{c_ballon} - \Delta\theta_{c_ap} \leq T_3(h-1) < \theta_{c_ballon} \text{ et } T_3(h-2) \leq T_3(h-1) \quad (55)$$

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 :

$$Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times (V_3 + V'_3) \times (\theta_{c_ballon} - T_{3_isol_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (56)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times (V_4 + V'_4) \times (\theta_{c_ballon} - T_{4_isol_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (57)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_1}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times (V_1 + V'_1) \times (\theta_{c_ballon} - T_{1_isol_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (58)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_2}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times (V_2 + V'_2) \times (\theta_{c_ballon} - T_{2_isol_Nbiterisol}(h)); 0] \quad (59)$$

Si le système est un système CESI ou SSC alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (60)$$

Si le système est un système base seule ou thermodynamique à appoint électrique

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_1}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_2}(h) \\ + Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (61)$$

Sinon

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = 0 \quad (62)$$

10. ÉTAPE 5TER : CALCUL DE L'ÉNERGIE A FOURNIR PAR L'APPOINT DANS LE CAS D'UN APPOINT DANS UN BALLON DE STOCKAGE SEPARÉ

10.1. Prise en compte des pertes du ballon d'appoint

Dans ce paragraphe les pertes du ballon à appliquer à chaque zone puis les températures après application des pertes du ballon sont calculées :

$$Pe_{z_app}(h) = U_z \times [T_{z_app}(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (63)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Et les températures à la fin de cette étape sont :

$$T_{z_pe_app}(h) = T_{z_Nbiter_app}(h) - \frac{Pe_{z_app}(h)}{C_w \times \rho_w \times V_{z_app}} \quad (64)$$

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 d'appoint sont calculées :

$$Pe_{app}(h) = \sum_{z=1}^4 Pe_{z_app}(h) \quad (65)$$

Et enfin pour finir, la température moyenne du ballon d'appoint est déterminée de la même façon que la méthode Th-BCE, cette température sera renvoyée au générateur d'appoint. La moyenne temporelle des températures de la zone de l'appoint au pas de temps précédent et après la prise en compte des pertes du ballon d'appoint est déterminée :

$$T_{moy_bal_app}(h) = \frac{T_{z_ap}(h-1) + T_{z_pe_app}(h)}{2} \quad (66)$$

10.2. Calcul de l'indice de programmation de l'appoint du ballon : f_ap

Les mêmes équations que celles définies à la cinquième étape sont reprises.

10.3. Calcul de l'énergie requise au niveau de l'appoint

Si $f_{ap}(h) = 0$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = 0 \quad (67)$$

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 de régulation de l'appoint qui se trouve dans la zone où se trouve l'appoint. Le dispositif chauffant devra se déclencher si :

$$T_{(z_app)_pe_app}(h) < \theta_{c_app} - \Delta\theta_{c_ap} \quad (68)$$

Ou

$$\theta_{c_app} - \Delta\theta_{c_ap} \leq T_{(z_app)_app}(h-1) < \theta_{c_app} \text{ et } T_{(z_app)_app}(h-2) \leq T_{(z_app)_app}(h-1) \quad (69)$$

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 :

$$Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_{3_app} \times (\theta_{c_app} - T_{3_pe_app}(h)); 0] \quad (70)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_4 \times (\theta_{c_app} - T_{4_pe_app}(h)); 0] \quad (71)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_1}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_{1_app} \times (\theta_{c_app} - T_{1_pe_app}(h)); 0] \quad (71-1)$$

$$Q_{req_sto_appoint_zone_2}(h) = \max[C_w \times \rho_w \times V_{2_app} \times (\theta_{c_app} - T_{2_pe_app}(h)); 0] \quad (71-2)$$

Si $z_{app} = 4$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (72)$$

Si $z_{app} = 3$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (73)$$

Si $z_{app} = 2$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_2}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (74)$$

Si $z_{app} = 1$ alors

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = Q_{req_sto_appoint_zone_1}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_2}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_3}(h) + Q_{req_sto_appoint_zone_4}(h) \quad (75)$$

Sinon

$$Q_{req_sto_appoint}(h) = 0 \quad (76)$$

11. SIXIEME ETAPE : CALCUL DES TEMPERATURES A LA FIN DU PAS DE TEMPS H

Enfin dans cette partie la gamme de températures après prise en compte de l'apport d'énergie de l'appoint est déterminée. A cette étape, 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.

Pour déterminer les températures après application de l'apport d'énergie de l'appoint, il est supposé que l'apport d'énergie se fait au niveau de la zone supérieure de l'échangeur de charge, ainsi :

Si $Q_{fou_sto_ap}(h) > 0$ et si le système est un système CESI ou SSC alors

$$T_3(h) = T_{3_isol_Nbiterisol}(h) + \frac{Q_{fou_sto_app}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_3 + V_3')} \quad (77)$$

Si $Q_{fou_sto_ap}(h) > 0$ et si le système est système base seule ou thermodynamique à appoint électrique alors

$$T_1(h) = T_{1_isol_Nbiterisol}(h) + \frac{Q_{fou_sto_app}(h)}{C_w \times \rho_w \times (V_1 + V_1')} \quad (78-1)$$

Sinon

$$T_3(h) = T_{3_isol_Nbiterisol}(h) \quad (79)$$

$$T_1(h) = T_{1_isol_Nbiterisol}(h) \quad (80)$$

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.

12. ETAPE 6TER : CALCUL DES TEMPERATURES A LA FIN DU PAS DE TEMPS H

Enfin pour finir les températures à la fin du pas de temps dans le ballon d'appoint et le ballon hors pression sont calculées.

Pour déterminer les températures après application de l'apport d'énergie de l'appoint, il est supposé que l'apport d'énergie se fait au niveau de la zone d'appoint :

$$T_{(z_app)_app}(h) = T_{(z_app)_pe_app}(h) + \frac{Q_{jou_sto_app}(h)}{C_w \times \rho_w \times V_{(z_app)_app}} \quad (81)$$

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 d'appoint $T_{z_app}(h)$ à la fin du pas de temps h sont obtenues.

Pour le ballon hors pression, les températures à la fin du pas de temps sont égales aux températures après application des pertes du ballon :

$$T_z(h) = T_{z_isol_Nbiterisol}(h) \quad (82)$$

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 températures du ballon hors pression $T_z(h)$ à la fin du pas de temps h sont obtenues.