

ANNEXE

Modalités de prise en compte des systèmes « d'accumulateurs d'Eau Chaude Sanitaire en eau technique » dans la réglementation thermique 2012

1. Définition du système

Les accumulateurs d'Eau Chaude Sanitaire en eau technique sont des ballons de stockage qui ont pour particularité de ne pas être raccordés directement au réseau de distribution ECS du bâtiment, mais séparés de celui-ci par un échangeur de chaleur. L'intérêt de cette séparation est principalement d'éviter les problèmes sanitaires de type légionelles, tout en disposant d'une capacité de stockage importante. L'échangeur de séparation peut être :

- Soit **immergé dans le ballon** (échangeur serpentin, échangeurs double-peau). On parlera alors d'échangeur interne, tel que représenté sur la Figure 1 ci-dessous :

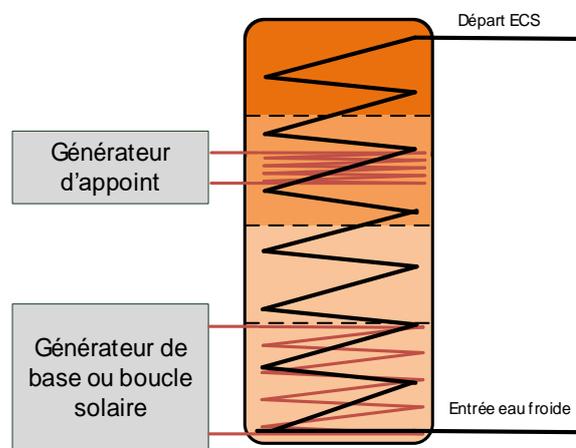


Figure 1: cas générique, accumulateur ECS en eau technique avec échangeur interne et générateur de base et d'appoint

- Soit **externe au ballon** et connecté aux piquages de celui-ci (échangeur à plaques ou tout autre module préparateur ECS séparé), tel que représenté sur la Figure 2 ci-dessous. Un circulateur primaire supplémentaire, piloté en fonction du besoin ECS du bâtiment, est alors ajouté pour alimenter l'échangeur côté accumulateur. On parlera d'échangeur externe dans la suite du document :

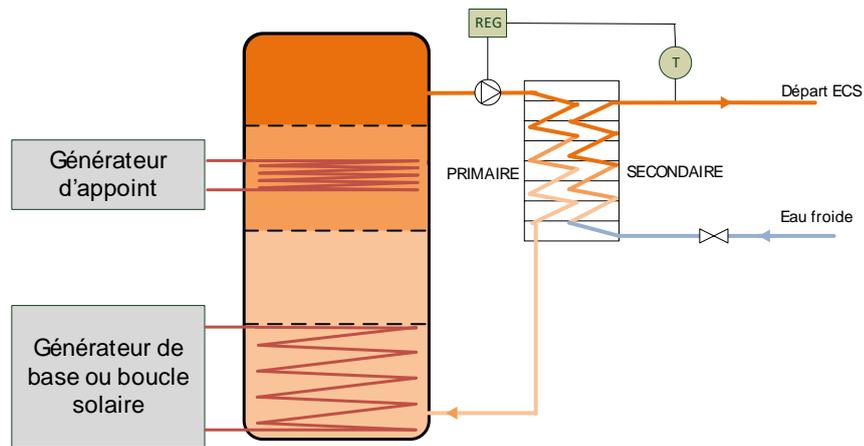


Figure 2: cas générique, accumulateur ECS en eau technique avec échangeur externe et générateurs de base/d'appoint

Les accumulateurs ECS en eau technique peuvent être combinés avec n'importe quel type de générateur de chaleur usuels. Dans le cadre du Titre V, on considèrera les possibilités d'assemblage accumulateur(s) – générateur(s) suivantes :

- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base seul ;
- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint intégré ;
- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint instantané séparé ;
- Accumulateur ECS en eau technique avec générateur de base et générateur d'appoint dans un second ballon en eau technique séparé. Ce dernier type d'assemblage n'est disponible que dans la configuration avec échangeur externe, pas dans celle avec échangeur immergé.

2. Champ d'application

Le présent Titre V est applicable à tout système entrant dans la description ci-dessus, quel que soit le type de bâtiment, d'usage et la zone climatique du projet.

En particulier, l'accumulateur ECS en eau technique peut être associé à tout type de générateur de base et d'appoint prévus dans la méthode Th-BCE ou sous forme de Titre V système génériques.

3. Méthode de prise en compte dans les calculs pour la partie non directement modélisable

3.1 PRINCIPE GÉNÉRAL

L'accumulateur ECS est pris en compte au travers d'un algorithme venant compléter directement la prise en compte des systèmes de production ECS des chapitres 11.9 à 11.21 de la méthode Th-BCE.

Les compléments apportés concernent les trois aspects suivants :

- Calcul du débit ECS circulant dans l'échangeur de production ECS au pas de temps horaire, à partir des scénarios règlementaires,

- Prise en compte physique d'un accumulateur en eau technique avec échangeur externe de production ECS,
- Prise en compte physique d'un accumulateur en eau technique avec échangeur immergé de production ECS.

Ils sont détaillés dans les chapitres ci-dessous.

3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 1 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera h le pas de temps de simulation. L'indice i représente quant à lui l'itération de puisage d'eau dans le ballon en cours, dans la logique d'un puisage itératif tel que décrit dans le chapitre 11.9 *C_STO_Ballon_de_stockage* de la méthode Th-BCE.

Entrées du composant					
Nom	Description	Unité			
$[\theta_{b(z)}(i-1)]$	Température des différentes zones du ballon à la fin de l'itération précédente	°C			
$\theta_{b(zp)}(i-1)$	Température de la zone à laquelle est connectée l'entrée de l'échangeur externe à la fin de l'itération précédente	°C			
$Q_{w_sto_uni}(i)$	Quantité d'énergie à fournir à l'itération de puisage i	Wh			
$Q_{w_rechauboucle}(h)$	Quantité d'énergie à prélever dans le ballon pour le réchauffage de la boucle ECS au pas de temps h	Wh			
$\theta_{ef}(h)$	Température d'eau froide	°C			
$\theta_{retour,boucleECS}$	Température retour de bouclage ECS	°C			
$\theta_{depart,aval}$	Température départ de consigne de la distribution ECS	°C			
$\theta_{amb}(h)$	Température d'air ambiant autour de l'échangeur	°C			
$qv_boucle.ecs(h)$	Débit d'eau du réseau bouclé ECS au pas de temps h (le cas échéant)	m ³ /h			
$V_{ef_ecs}(h)$	Volume total d'eau chaude non-mitigée puisé au pas de temps h	m ³			
Paramètres du composant					
Nom	Description	Unité	Min	Max	Def
$Type_Assemblage$	Type d'assemblage ECS parmi les suivants :				
	0) Base sans appoint	Ent	0	5	
	1) Base et appoint intégré				
	2) Base et appoint dans stockage séparé				
3) Base et appoint séparé instantané					

		4) SSC avec appoint chauffage par système indépendant 5) SSC avec appoint chauffage raccordé			
	V_{tot}	Volume total du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m ³	0	+∞
	$Type_Accumulateur_ECS$	Type d'accumulateur ECS : 0) Ballon d'eau chaude sanitaire, 1) Ballon en eau technique avec échangeur immergé 2) Ballon en eau technique avec échangeur externe (préparateur)	Ent	0	2
	$Type_Application$	Type d'application de l'accumulateur ECS en eau technique (pour la définition de θ_{cons}) : 0) Accumulateur ECS individuel 1) Accumulateur ECS collectif (avec ou sans bouclage)	Ent	0	1
Réchauffage de boucle	$Is_Retour_Boucle_Se_pare$	Présence d'un piquage retour séparé, en partie haute du ballon, pour le réchauffage de boucle ECS : 0) Non 1) Oui	Ent	0	1
	$P_{w_circ_prim_RB}$	Puissance absorbée par le circulateur de charge du préparateur ECS lors des phases de réchauffage de boucle	W	0	+∞
	P_{echECS}	Puissance thermique nominale de l'échangeur ECS à la température primaire θ_{cons} , température d'eau froide de 15°C et température d'ECS de 5°C inférieure à θ_{cons} (au débit primaire nominal pour un échangeur externe)	kW	0	+∞
	$Q_{v_prim_nom}$	Débit volumique d'eau nominal dans le circuit primaire du préparateur ECS	m ³ /h	0	+∞
Echangeur	$Type_Circulateur_Prep_ECS$	Type de circulateur du préparateur ECS : 0) Circulateur à vitesse constante 1) Circulateur à vitesse variable	Ent	0	1
	$P_{w_circ_prim_nom}$	Puissance absorbée par le circulateur de charge du préparateur ECS au débit primaire nominale	W	0	+∞
	$Modmin$	Rapport du débit minimal que le circulateur primaire peut maintenir sur le débit nominal de celui-ci	-	0	1 0,3

Sorties

Nom	Description	Unité
$Q_{w_sto_unit_report}(i)$	Quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération de puisage	Wh
$Q_{w_sto_unit_report}(i)$	Quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'ensemble des itérations de puisage	Wh

	$ArretPuisage(i)$	Indicateur booléen signifiant l'interruption du puisage en cours lorsqu'il bascule à vrai	bool
	$\theta_{retour,ballon}(i)$	Température de l'eau revenant au ballon depuis l'échangeur au cours de l'itération de puisage	°C
Echangeur externe	$V_p(i)$	Volume d'eau effectivement puisé ou prélevé dans le ballon au cours de l'itération	m ³
	$W_{circ_prim}(h)$	Consommation électrique du circulateur de la boucle primaire entre le ballon et l'échangeur	Wh
	$[Q_{preleve[z]}(i)]$	Quantité d'énergie prélevée en partie haute du ballon pour le réchauffage de boucle	Wh
	$z_{retour,ech,ext}$	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur externe	-
	z_{retour,ech_boucle}	Indice de la zone du ballon sur laquelle est de raccordé le piquage retour de l'échangeur réchauffeur de boucle ECS	-
Echangeur interne	$[Q_{preleve[z]}(i)]$	Quantités d'énergie prélevées dans chaque zone du ballon par l'échangeur interne	Wh
	$z_{bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur	Ent
	$z_{haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur	Ent

Variables internes

Nom	Description	Unité
$h_{bas,ech,rel}$ $h_{haut,ech,rel}$	Hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur interne par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en % Fixées à	%
V_{z_min}	Volume d'eau de la zone la moins volumineuse dans le ballon	m ³
$[V[z]]$	Volumes des différentes zones du ballon dans lequel se situe l'échangeur interne	m ³
UA_{ech}	Coefficient de transfert thermique global de l'échangeur ECS (externe ou interne)	W/K
$[UA_{ech}[z]]$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne avec la zone d'indice z du ballon	W/K
$[NUT_{ech}[z]]$	Nombres d'unité thermique équivalent pour les portions d'échangeur interne de chaque zone	-
$R_{temp}(h)$	Ratio de température entre le point de puisage et le départ de distribution ECS:	-
$V_{eq-un-puisage}(h)$	Volume ECS équivalent puisé au cours d'un puisage moyen	m ³
$N_{puisage}(h)$	Nombre de puisages moyens total sur le pas de temps h	Ent

$Y(h)$	Coefficient de probabilité de simultanéité des puisages au cours du pas de temps h	-
$t_{\text{puis}}(h)$	Durée équivalente de puisage au pas de temps h (entre 0 et 1 h)	h
$q_{\text{vef_ecs}}(h)$	Débit d'ECS moyen à produite au cours du puisage au pas de temps h	m ³ /h
$q_{\text{vaval}}(h)$	Débit d'ECS au secondaire de l'échangeur au pas de temps h	m ³ /h
$\theta_{\text{retour,aval}}(h)$	Température d'eau entrant dans l'échangeur côté bâtiment (secondaire)	°C
$\theta_{\text{sortie,ballon}}(h)$	Température d'eau en sortie du ballon	°C
$\theta_{\text{entree_ech}}(h)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$\theta_{\text{sortie_ech}}(i)$	Température de l'eau entrant dans l'échangeur côté ballon	°C
$V_{\text{puisage}}(i)$	Volume d'eau à prélever dans le ballon pour assurer le puisage	m ³
$NUT(h)$	Nombre d'unité thermique de l'échangeur au pas de temps h	-
$Rd(h)$	Rapport de déséquilibre de l'échangeur au pas de temps h	-
$\varepsilon_{\text{eff}}(h)$	Efficacité de l'échangeur externe au pas de temps h	-
$[Q_{\text{max}[z]}(i)]$	Quantité d'énergie maximale qui peut être prélevée dans la zone d'indice z	Wh
$Q_w(i)$	Quantité d'énergie à fournir pour une itération avec un échangeur interne	Wh
$Q_{\text{nonassure}}(i)$	Quantité d'énergie nécessaire pour porter la température de sortie du ballon à la température départ ECS à l'itération i	Wh
$[\Delta\theta_{\text{deb}[z]}(i)]$	Elévation de la température d'eau circulant dans la portion d'échangeur située dans la zone d'indice z	°C
$W_{\text{circ_prim,puis}}(h)$ $W_{\text{circ_prim,RB}}(h)$	Consommation électrique du circulateur primaire lors de la phase de puisage et lors de la phases de réchauffage de boucle	Wh

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
ρ_e	Masse volumique de l'eau	kg/m ³	998
c_e	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg.K)	1,163
t_h	Durée d'un pas de temps en h	h	1

Tableau 1 : Nomenclature des différentes variables du modèle

3.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

En présence d'un accumulateur ECS en eau technique, le calcul itératif du volume puisé dans le ballon tel que décrit dans le chapitre « 11.10 C_STO_Gestion-régulation base ballon » de la méthode Th-BCE est modifié pour prendre en compte l'échangeur externe ou immergé.

En particulier, il convient de faire évoluer le paragraphe 11.10.3.1.3 *Calcul du volume puisé d'ECS (boucle itérative)*, qui décrit les modalités de calcul de $V_p(i)$, volume puisé dans le ballon à chaque itération d'indice i , et $Q_{w_sto_unit_report}(i)$, quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération i , dans le cas d'un ballon en eau chaude sanitaire.

Le principe de cette boucle itérative est rappelé en Figure 3. A chaque itération i , la boucle itérative communique les variables de températures des différentes zones du ballon $\theta_{b[z]}(i)$ et de besoin en ECS $Q_{w_sto_unit}(i)$. A l'issue de l'itération, on calcule à nouveau les températures des différentes zones du ballon et la quantité d'énergie restant à assurer à l'itération suivante $Q_{w_sto_unit_report}(i)$.

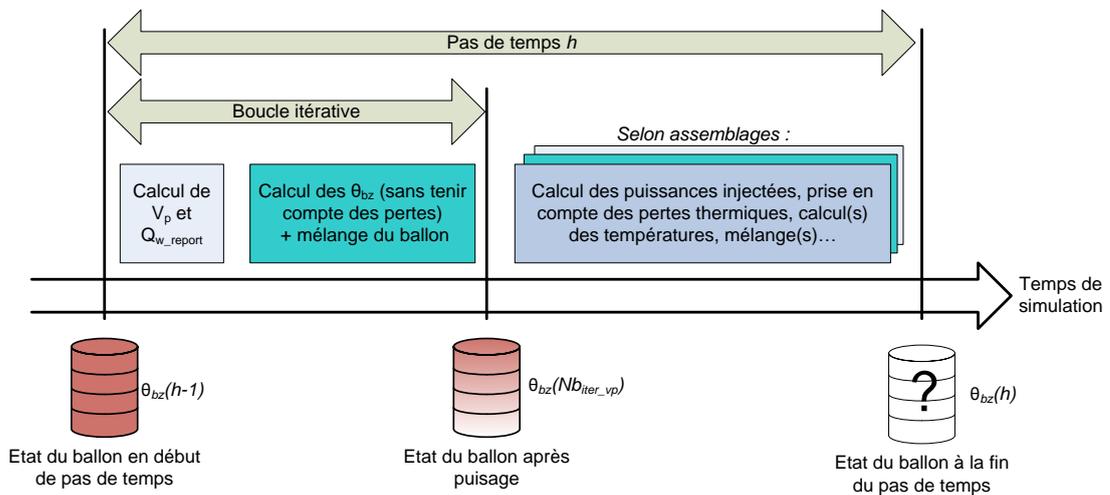


Figure 3: ballon ECS, déroulement d'un calcul sur un pas de temps

Les chapitres ci-dessous décrivent l'équivalent de ce calcul pour le cas d'un accumulateur en eau technique avec échangeur externe (§3.3.22) et avec échangeur interne (§3.3.33). Pour ce dernier, on ne raisonne pas en volume puisé, mais plus en quantité d'énergie prélevée dans les différentes zones du ballon.

3.3.1 CALCUL DU DEBIT ECS CIRCULANT DANS L'ÉCHANGEUR AU PAS DE TEMPS HORAIRE

Pour caractériser l'échangeur à chaque pas de temps, il convient de disposer du débit ECS circulant au secondaire (aussi bien pour un échangeur externe qu'interne).

Or, la méthode de calcul Th-BCE fournit un volume d'ECS puisé total à chaque pas de temps, $V_{ef_ecs}(h)$ en m^3 , mais pas la valeur de débit ECS moyenne sur le pas de temps correspondante. On notera ce débit $q_{v_{ef_ecs}}(h)$, en m^3/h .

Pour calculer $q_{V_{ef_ecs}}$, on applique une méthode reposant sur des hypothèses conventionnelles quant à la nature des puisages appliqués pour un $V_{ef_ecs}(h)$ donné. Ainsi, on cherche à décomposer $V_{ef_ecs}(h)$ en un nombre équivalent de puisages significatifs. On pose conventionnellement l'hypothèse qu'un puisage significatif correspond à un tirage de 6 l/min, pendant une durée de 8 minutes, à 40°C au point de puisage.

Pour opérer cette décomposition, on définit tout d'abord le ratio de température entre le point de puisage et le départ de distribution ECS:

$$R_{temp}(h) = \frac{40 - \theta_{ef}(h)}{\theta_{depart,aval} - \theta_{ef}(h)} \quad (1)$$

Le volume ECS équivalent puisé au cours d'un puisage moyen est donc égal à :

$$V_{eq-un-usage}(h) = 8 (min) \times 6 (l/min) \times R_{temp}(h) \quad (2)$$

Note: à titre de référence, pour une température d'eau froide de 15°C et une température départ de 55°C, $V_{eq-un-usage} = 30 l$ d'eau chaude à 55°C. Cela correspond à un besoin ECS de 1380 Wh environ.

On calcule tout d'abord le nombre de puisage équivalent sur le pas de temps. Il s'agit de l'entier directement supérieur du rapport $V_{ef,ecs}$ sur $V_{eq-un-usage}$:

$$N_{usage}(h) = MAX \left(1 ; ENTIER \left(\frac{V_{ef,ecs}(h)}{V_{eq-un-usage}(h)} \right) \right) \quad (3)$$

Selon notre hypothèse conventionnelle, le débit ECS maximal au pas de temps h , si tous les puisages avaient lieu de manière simultanés, serait donc $N_{usage}(h) \times 6(l/min)$. Le débit ECS effectif est calculé à partir de ce débit ECS maximal, en intégrant un facteur de concomitance :

Si $N_{usage}(h) = 1$:

$$q_{V_{ef,ecs}}(h) = 0,06 \times N_{usage}(h) \times 6 (l/min) \times R_{temp}(h) \quad (4)$$

Sinon

$$q_{V_{ef,ecs}}(h) = 0,06 \times N_{usage}(h) \times 6 (l/min) \times R_{temp}(h) \times Y(h) \quad (5)$$

Avec :

- 0,06 le coefficient de conversion des l/min en m³/h,
- 6 l/min le débit ECS nominal d'un point de puisage équivalent.
- Y le coefficient de probabilité de simultanéité des puisages :

$$Y(h) = \frac{0,8}{\sqrt{N_{usage}(h) - 1}} \quad (6)$$

La valeur prise par $Y(h)$ en fonction du nombre de puisage est illustrée ci-dessous :

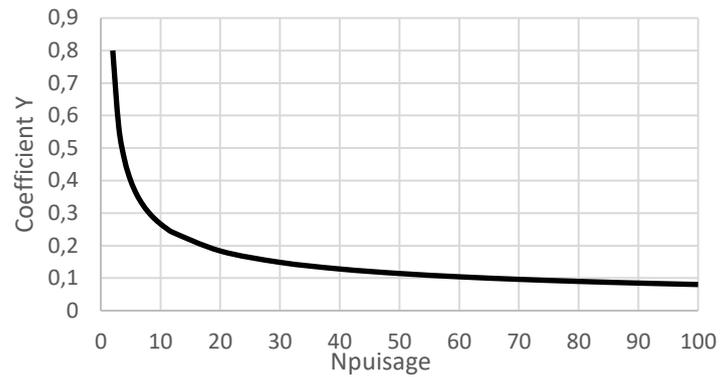


Figure 4: relation entre Y et N_{puisage}

Pour finir, on calcule la durée de puisage équivalente au pas de temps h , t_{puis} , exprimée en fraction d'heure. t_{puis} servira uniquement à exprimer la durée de fonctionnement du circulateur primaire au pas de temps h .

Si $N_{\text{puisage}}(h) = 1$:

$$t_{\text{puis}}(h) = 2 \times 0,13 \quad (h) \quad (7)$$

Sinon,

$$t_{\text{puis}}(h) = \text{MIN}(1; N_{\text{puisage}}(h) \times Y(h) \times 0,13) \quad (h) \quad (8)$$

Avec 0,13 le rapport entre la durée d'un puisage équivalent (8 minutes) et la durée d'une heure (60 minutes),

La valeur de t_{puis} en fonction du nombre de puisages est illustrée ci-dessous :

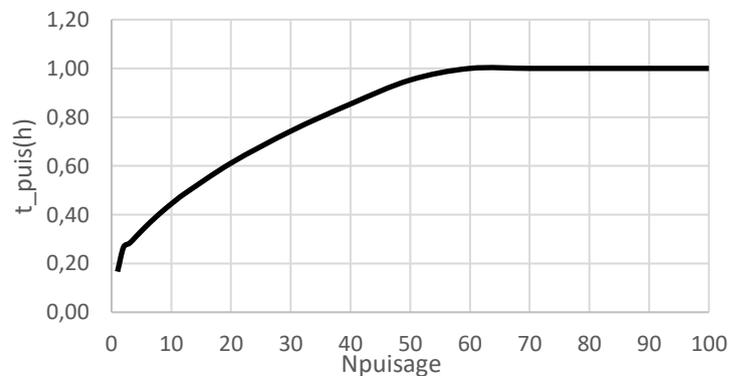


Figure 5: relation entre t_{puis} et N_{puisage}

3.3.2 ACCUMULATEUR EN EAU TECHNIQUE AVEC ECHANGEUR EXTERNE DE PRODUCTION ECS

Ce paragraphe s'applique dès lors que $Type_Accumulateur_ECS = 2$) *Ballon en eau technique avec échangeur externe (préparateur)*.

3.3.2.1 Principe

L'échangeur externe est supposé associé au selon la configuration représentée ci-dessous :

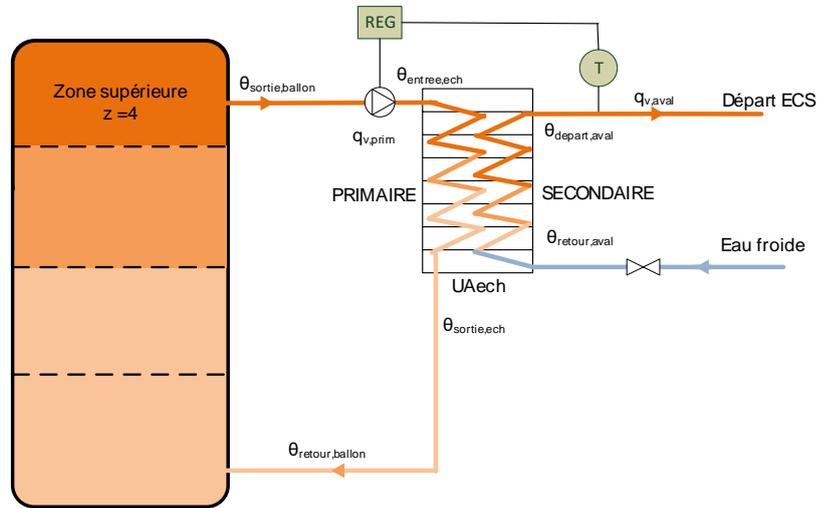


Figure 6: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur externe pour la production ECS avec réseau direct (sans bouclage)

Dans cette configuration, le débit d'eau circulant dans l'échangeur côté primaire peut être :

- soit constant, avec une vanne pilotant la température d'injection d'eau dans l'échangeur côté primaire, en fonction de la température de sortie du ballon et de la température départ aval,
- soit variable : dans ce cas, le débit primaire est ajusté en fonction de la puissance que doit fournir l'échangeur au secondaire.

A partir de ce débit primaire, du débit au secondaire calculé selon le §3.3.1 et du coefficient caractéristique $UAech$ de l'échangeur, on détermine la température de retour au ballon $\theta_{retour,ballon}$ et la consommation du circulateur primaire.

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé, l'échangeur externe n'est modélisé que lors des phases de puisages. Au cours des phases de réchauffage de boucle, une modélisation spécifique est réalisée (voir §3.3.2.4.2).

3.3.2.2 Conventions de calcul

La prise en compte des ballons en eau technique impose de définir un certain nombre de conventions supplémentaires par rapport à un ballon à ECS classique.

Tout d'abord, dans le cas des ballons en eau technique, le nombre de zone par ballon est fixé à 4 et, quelle que soit la fraction faux couverte par l'appoint, le ballon est décomposé en 4 zones de tailles identiques.

$$N_{zone} = 4 \quad (9)$$

$$V_{zone} = \frac{V}{N_{zone}} \quad (10)$$

Les autres conventions prises sont listées dans le tableau ci-dessous :

Variable	Définition	Valeur conventionnelle
$Z_{retour,ech,ext}$	Indice de la zone du ballon sur laquelle est raccordé le piquage de retour de l'échangeur externe	1
$Z_{retour,ech,boucle}$	Indice de la zone du ballon sur laquelle est raccordé le piquage de retour de l'échangeur réchauffeur de boucle ECS	Selon $I_{S_{Retour,boucle,separe}}$: Si Non, $Z_{retour,ech,boucle} = 1$, Si Oui, $Z_{retour,ech,boucle} = 3$
$Z_{bas,ech}$	Indice de la zone où se situe le bas de l'échangeur	1
$Z_{haut,ech}$	Indice de la zone où se situe le haut de l'échangeur	4

Tableau 1 : Nomenclature des différentes variables du modèle

Enfin, dans le cadre des ballons en eau technique, la température de consigne conventionnelle, à laquelle le générateur est maintenue, est modifiée. Elle dépend du type d'application du ballon en eau technique, individuel ou collectif :

<i>Type_Application</i>	0 : Accumulateur individuel	1 : Accumulateur collectif (avec ou sans bouclage)
Température de consigne θ_{cons}	55 °C	60 °C

Tableau 1 : Valeurs de températures de consigne conventionnelles pour les accumulateurs ECS en eau technique

On considèrera un accumulateur individuel ($Type_Application = 0$) dès lors que le volume est inférieur à 500l ou dès lors que l'installation prévoit un accumulateur par logement en usage d'habitation (par chambre en usage d'hébergement).

3.3.2.3 Préprocesseur pour le cas d'un échangeur externe

Afin de modéliser l'échangeur de production ECS externe, il nous faut déterminer la coefficient d'échange thermique de l'échangeur UA_{ech} à partir de la puissance thermique nominale P_{echECS} et du débit $q_{v_prim_nom}$ déclarés en paramètres. Ce calcul n'est réalisé qu'une seule fois, en début de simulation.

La puissance thermique nominale P_{echECS} , en kW, correspond à la puissance thermique de l'échangeur ECS pour les conditions suivantes :

- température primaire égale à θ_{cons} , selon valeurs du
- Tableau 1 ci-dessus,
- température d'eau froide de 15°C
- température d'ECS de 5°C inférieure à θ_{cons} (soit 50°C en accumulateur individuel et 55°C en collectif),
- débit primaire égal au débit primaire nominal $q_{v_prim_nom}$.

Le débit d'ECS circulant dans l'échangeur au point de fonctionnement nominal est le suivant:

$$q_{v,ECS,nom} = \frac{1000 \cdot P_{echECS}}{\rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{cons} - 5^\circ C - 15^\circ C)} \quad (11)$$

L'efficacité aux débits nominaux de l'échangeur de production ECS s'exprime comme suit:

$$\varepsilon_{eff,nom} = \frac{\theta_{cons} - 5^\circ C - 15^\circ C}{\theta_{cons} - 15^\circ C} \cdot \frac{MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})}{q_{v,ECS,nom}} \quad (12)$$

Et le rapport des débits est le suivant:

$$R_{d,nom} = \frac{MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})}{MAX(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})} \quad (13)$$

L'étape suivante consiste à calculer le coefficient UA_{ech} par inversion de la méthode du NUT, en faisant l'hypothèse d'un échangeur contre-courant. On utilise la méthode de résolution itérative de Brent, déjà utilisée à d'autres emplacements de la méthode Th-BCE (voir par exemple C_Gen_Source_Amont).

En préalable à cette résolution, on initialise UA_{ech} à la valeur suivante :

$$UA_{ech} = 50 \cdot P_{echECS} \quad (W/K) \quad (14)$$

A chaque itération i de la méthode de résolution, l'objectif est d'atteindre $|\Delta\varepsilon(i)| < 0,01$ avec $\Delta\varepsilon(i)$ calculé comme suit :

$$NUT(i) = \frac{3600 \cdot UA_{ech}(i)}{\rho_e \cdot c_e \cdot MIN(q_{v,ECS,nom}; q_{v,prim,nom})} \quad (15)$$

$$\varepsilon_{eff}(i) = \frac{1 - e^{-NUT(i).(1-R_{d,nom})}}{1 - Rd(h).e^{-NUT(i).(1-R_{d,nom})}} \quad (16)$$

$$\Delta\varepsilon(i) = \varepsilon_{eff,nom} - \varepsilon_{eff}(i) \quad (17)$$

A l'issue de la résolution, UAech est pris égal au dernier UAech(i) de la résolution. Ce coefficient UAech sera supposé constant pour l'ensemble des valeurs de débits ECS ou primaires susceptibles d'être fournies en entrée du calcul, au cours de la simulation.

3.3.2.4 Modélisation d'un puisage ECS : cas des assemblages base seule ou base et appoint intégré (Type_Assemblage = 0 ou 1)

Le présent paragraphe est appliqué dans le cas où $V_{ef,ecs} > 0 \text{ m}^3$ (puisage ECS) au pas de temps h.

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et le volume d'eau prélevé au ballon en fonction des températures et débits du réseau ECS. Pour cela, on commence par calculer l'efficacité de l'échangeur externe, puis on applique la boucle itérative de puisage prévue dans la méthode Th-BCE, chapitre C_STO_Gestion_régulation_base_ballon et, enfin, on calcule les consommations du circulateur primaire. C'est l'objet du §3.3.2.4.1 ci-dessous.

Etant donné que le réchauffage de boucle est modélisé séparément, le besoin ECS comptabilisée au niveau de la boucle de puisage, $Q_{w_sto_unit}$, lors de la première itération (i=0), est corrigée en déduisant la part de besoin correspondant au réchauffage de boucle :

$$Q_{wstounit}(i=1) = Q_{wstounit}(i=1) - Q_{w_rechauboucle}(h) \quad (18)$$

Cette correction n'est pas applicable en l'absence de réseau ECS bouclé.

3.3.2.4.1 Modélisation de l'échangeur externe de production ECS (puisage)

Pour la modélisation du puisage, le débit aval de l'échangeur externe (au secondaire) est considéré égal au débit ECS moyen calculé au §3.3.1. La température entrant au secondaire l'échangeur est la température d'eau froide :

$$q_{v,aval}(h) = q_{v,ef,ecs}(h) \quad (19)$$

$$\theta_{retour,aval}(h) = \theta_{ef}(h) \quad (20)$$

Efficacité de l'échangeur externe ECS :

Avant d'entrer dans la boucle itérative de puisage, on calcule l'efficacité de l'échangeur externe, $\varepsilon_{eff}(h)$ selon la méthode du NUT, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

Bien que les débits côté distribution et primaire, $q_{v,ef,ecs}(h)$ et $q_{v,prim}(h)$, puissent varier, on fera l'hypothèse que le coefficient d'échange UAech reste applicable.

On calcule le débit primaire à appliquer au pas de temps h:

Cas d'un réseau primaire à débit constant (TypeCirculateurPrep_ECS= 0: à vitesse constante):

$$q_{v,prim}(h) = q_{v,prim,nom} \quad (21)$$

Cas d'un réseau primaire à débit variable (TypeCirculateurPrep_ECS= 1: à vitesse variable):

Dans le cas d'un réseau primaire à débit variable, le débit primaire est supposé évoluer linéairement en fonction du rapport des débits ECS. Le débit primaire ne peut pas descendre sous un débit minimum $Modmin \times q_{v,prim,nom}$.

Ainsi :

$$q_{v,prim}(h) = MAX\left(\frac{q_{v,aval}(h)}{q_{v,ECS,nom}}; Modmin\right) \times q_{v,prim,nom} \quad (22)$$

Le nombre d'unité thermique NUT(h) de l'échangeur ECS est défini par la relation suivante :

$$NUT(h) = \frac{3600 \cdot UA_{ech}}{\rho_e \cdot c_e \cdot MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))} \quad (23)$$

Le rapport déséquilibre de l'échange thermique Rd(h) est, quant à lui, calculé comme suit :

$$Rd(h) = \frac{MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))}{MAX(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))} \quad (24)$$

Si Rd (h) = 1 (transfert thermique à débits équilibrés), alors,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h) + 1} \quad (25)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{eff}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h) \cdot (1-Rd(h))}}{1 - Rd(h) \cdot e^{-NUT(h) \cdot (1-Rd(h))}} \quad (26)$$

Enfin, on souhaite calculer la température requise en entrée de l'échangeur côté ballon pour pouvoir réchauffer l'eau du réseau de distribution. Cette température est notée $\theta_{entree_ech}(h)$. Elle dépend de l'efficacité de l'échangeur au pas de temps h, des débits de part et d'autre de ce dernier, ainsi que des températures départ et retour côté bâtiment :

$$\theta_{entree_ech}(h) = \theta_{retour,aval}(h) + \frac{q_{v,aval}(h)}{\varepsilon_{eff}(h) \cdot MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))} \cdot (\theta_{depart,aval} - \theta_{retour,aval}(h)) \quad (27)$$

Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage :

A chaque itération i de la boucle de puisage ECS, on applique la procédure du présent paragraphe.

La capacité à assurer le puisage dans le ballon va dépendre de la température de la zone du ballon à laquelle est raccordée le piquage départ connecté à l'échangeur externe, notée $\theta_{sortie,ballon}(i)$. Cette dernière est prise égale à la température de la zone du ballon à laquelle le piquage est connecté à l'issue de l'itération précédente :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{b[zp]}(i - 1) \quad (28)$$

Condition : Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree_ech}(h)$, le puisage peut être assuré au moins en partie.

Cas d'un réseau primaire à débit constant (Type_{CirculateurPrep_ECS}= 0: à vitesse constante):

La température en entrée de l'échangeur est pilotée par une vanne trois voies de manière à atteindre $\theta_{entree_ech}(h)$, d'où :

$$\theta_{sortie_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(i) - \varepsilon_{eff}(h) \cdot \frac{MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))}{q_{v,aval}(h)} \cdot (\theta_{entree,ech}(h) - \theta_{retour,aval}(h)) \quad (29)$$

Cas d'un réseau primaire à débit variable (Type_{CirculateurPrep_ECS}= 1: à vitesse variable):

La température est directement la température de sortie du ballon de stockage, sans vanne intermédiaire, d'où:

$$\theta_{sortie_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(i) - \varepsilon_{eff}(h) \cdot \frac{MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,prim}(h))}{q_{v,aval}(h)} \cdot (\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{retour,aval}(h)) \quad (30)$$

Dans les deux cas, la température retour ballon est égale à la température de sortie de l'échangeur :

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie_ech}(i) \quad (31)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est plafonné par le volume minimal de zone du ballon V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = \frac{Q_{w,sto,unit}(i)}{\rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{sortie_ech}(i))} \quad (32)$$

$$V_p(i) = MIN(V_{puisage}(i); V_{zmin}) \quad (33)$$

Avec $\theta_{sortie,ballon}(h) = \theta_{b[zp]}(i)$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{w,sto,unit,report}(i) = Q_{w,sto,unit}(i) - V_p(i) \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie_ech}(h)) \quad (34)$$

Sinon, dans le cas où $\theta_{sortie,ballon}(h) < \theta_{entree_ech}(h)$, la température du ballon est insuffisante pour assurer le puisage. L'échangeur n'est pas alimenté en eau, et la quantité d'énergie à fournir est reportée soit sur un appoint intégré, soit au pas de temps suivant:

$$\theta_{sortie_ech}(i) = \theta_{amb}(h) \quad (35)$$

$$V_{puisage}(i) = 0 \text{ m}^3 \quad (36)$$

$$V_p(i) = 0 \text{ m}^3 \quad (37)$$

$$Q_{w,sto,unit,report}(i) = Q_{req}(h) \quad (38)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = \text{vrai} \quad (39)$$

A la fin de chaque itération i , les températures du ballon et la quantité de chaleur $Q_{w,sto,unit}(i+1)$ sont recalculées selon les modalités du chapitre C_Sto_Ballon_de_Stockage de la méthode Th-BCE.

Pour rappel, la boucle itérative de bouclage se termine quand la condition suivante est remplie :

$$\begin{aligned} & \text{Si } ArretPuisage(i) = \text{vrai} \\ & \text{OU } Q_{w,sto,unit,report_e}(i) = 0 \text{ Wh} \\ & \text{OU } V_p(i) = 0 \text{ m}^3, \text{ alors :} \\ & \text{Fin de la boucle itérative de puisage} \end{aligned} \quad (40)$$

Ici se termine la procédure spécifique à la boucle itérative de puisage.

En l'absence de distribution ECS bouclée, la quantité d'énergie reportée est calculée comme suit :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w,sto,unit,report}(i) \quad (41)$$

Calcul de la consommation électrique du circulateur primaire lors du puisage :

A l'issue de l'application de la boucle de puisage, que le puisage ait pu être assuré ou non, la consommation de circulateur primaire est comptabilisée au pas de temps h de la manière décrite ci-dessous :

Pour un circulateur à vitesse constante (Type_{CirculateurPrep_ECS} = 0: à vitesse constante):

Le circulateur fonctionne à sa puissance nominale, pendant une durée égale à la durée du puisage ECS:

$$W_{circ,prim,puis}(h) = Pw_{circprim} \cdot t_{puis}(h) \quad (42)$$

Pour un circulateur à vitesse variable (Type_{CirculateurPrep_ECS} = 1: à vitesse variable):

Concernant la consommation de circulateur à vitesse variable, on suppose une relation similaire à celle d'un circulateur de distribution de chauffage à pression différentielle constante, telle qu'exprimée dans le chapitre *C_Dist_Gestion-régulation des distributions de chauffage et refroidissement* de la méthode Th-BCE :

$$W_{circ,prim,puis}(h) = \text{MIN} \left[1; \left(\frac{q_{v,prim}(h)}{q_{v,prim,nom}} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \cdot Pw_{circprim} \cdot t_{puis}(h) \quad (43)$$

A titre d'illustration, est l'évolution du rapport des puissances de circulateur à charge partielle en fonction du rapport des débits dans le cas vitesse variable représentée ci-dessous (avec $Modmin = 0,3$):

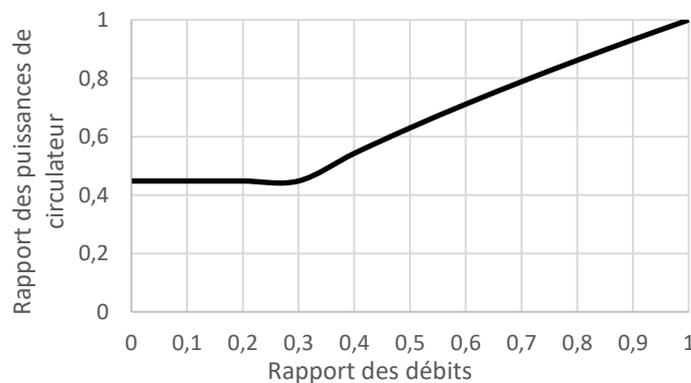


Figure 7: rapport des puissances de circulateur en fonction du rapport des débits d'eau

3.3.2.4.2 Modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé ($q_{v,boucleecs}(h) > 0$), on modélise séparément le prélèvement d'énergie correspondant au réchauffage du réseau bouclé ECS.

Deux cas de figure peuvent se présenter lorsque le ballon fonctionne en réchauffage de boucle :

- Soit le piquage retour est identique à celui utilisé lors des puisages. Dans ce cas, on injecte en partie basse du ballon de l'eau à température proche de la température retour de bouclage ECS, ce qui a pour effet de nuire à la stratification de l'ensemble.
- Soit le piquage retour est séparée lors des phases de réchauffage de boucle ECS ($IS_{Retour,boucle,separe} = 1: Oui$). Dans ce cas, on supposera ce piquage retour intervient en zone trois, que donc seules les deux zones hautes du ballon sont affectées par le prélèvement d'énergie nécessaire au réchauffage de la boucle.

Le réchauffage de boucle est modélisé par une dernière itération de puisage, à l'issue des calculs du §3.3.2.4.1, qu'il y ait eu un puisage ou non au pas de temps h . On utilise une représentation simplifiée, sans prendre en compte d'échangeur intermédiaire.

Le volume d'eau équivalent prélevé à la zone supérieure du ballon lors cette dernière itération est calculé comme suit :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{b[zp]}(i-1) \quad (44)$$

$$V_{puisage}(i) = \frac{Q_{w,reachboucle}(h)}{\rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{sortie,ech}(h))} \quad (45)$$

A la suite de ce prélèvement d'énergie, les températures du ballon sont à nouveau recalculées.

Si l'énergie disponible dans la zone haute du ballon est insuffisante pour assurer le réchauffage de la boucle ECS, il n'y a pas de prélèvement d'énergie. La quantité d'énergie $Q_{w,sto,unit,report}(i_{RB})$ de la dernière itération de réchauffage de boucle est ajoutée à la quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de la boucle itérative de puisage ($Q_{w,sto,unit,report}(i-1)$), soit :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w,sto,unit,report}(i_{RB}) + Q_{w,sto,unit,report}(i-1) \quad (46)$$

Par ailleurs, on calcule consommation électrique du circulateur pour la phase de réchauffage de boucle $W_{circ,prim,RB}(h)$:

$$W_{circ,prim,RB}(h) = P_{W_{circ,prim,RB}} \cdot (1 - t_{puis}(h)) \quad (47)$$

La consommation totale de circulateur primaire au pas de temps h est enfin :

$$W_{circ,prim}(h) = W_{circ,prim,puis}(h) + W_{circ,prim,RB}(h) \quad (48)$$

3.3.2.4.3 Alerte sur le nombre d'heures successives en situation de report d'énergie

A l'issue de la dernière itération de la boucle puisage et de la modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon, on dispose de la quantité d'énergie reportée au pas de temps h+1, $Q_{w,sto,unit,report}(h)$.

Si le nombre d'heures successives où $Q_{w,sto,unit,report}(h)$ est non-nul dépasse les 12h, le calcul renvoie un message d'erreur et est suspendu.

3.3.2.5 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage base dans un ballon principal et appoint dans un ballon séparé (Type_Assemblage = 2)

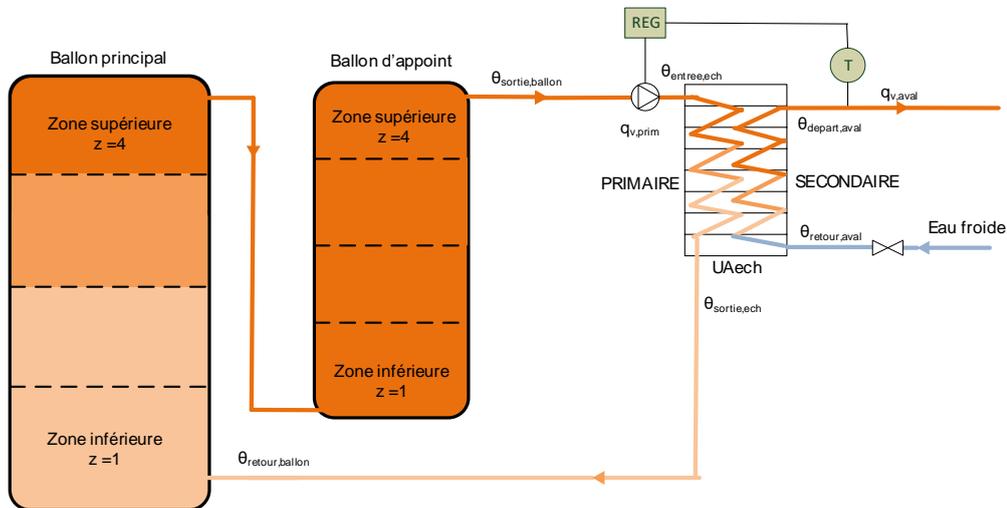


Figure 8: schéma d'illustration de l'assemblage Base et appoint dans stockage séparé avec échangeur externe pour la production ECS (sans bouclage)

Dans le cas d'un assemblage de type base et appoint dans ballon séparé (Type_Assemblage = 2, voir schéma ci-dessus), les éléments d'algorithmes évoqués au §3.3.2.4, pour un seul ballon de stockage, restent applicables. La boucle itérative est modifiée selon les modalités mentionnées dans le chapitre S2_GEN_ballon_base_solaire_AS_ballon de la méthode Th-BCE.

Dans le cas de l'échangeur externe, on pose les hypothèses suivantes :

- La zone haute du ballon d'appoint est connectée à l'entrée de l'échangeur externe ECS,
- L'eau sortant de l'échangeur externe côté primaire est injectée en partie basse du ballon principal, à la température $\theta_{\text{retour,ballon}}$,
- La zone haute du ballon principal est connectée à la zone basse du ballon appoint,
- Dans le cas où le piquage retour est séparée lors des phases de réchauffage de boucle ECS ($I_{\text{Retour,boucle,separe}} = 1: \text{Oui}$), on supposera que ce dernier est connecté à la zone 1 du ballon d'appoint.

3.3.2.6 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage appoint séparé instantané (Type_Assemblage = 3)

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'assemblage peut jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série de l'échangeur sur le secondaire, vient alors compléter la puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme « Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage » décrit au § 3.3.2.4 est modifié comme suit :

Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{entree_ech}(h)$, le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique les équations (29) à (34).

Sinon, si $\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{retour_aval}(h)$, l'échangeur externe peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Dans ce cas, sa contribution au réchauffement de l'ECS est limitée par la température dont on dispose en sortie du ballon, d'où :

$$\theta_{entree_ech}(i) = \theta_{sortie,ballon}(h) \quad (49)$$

$$\theta_{sortie_ech}(i) = \theta_{entree_ech}(i) - \varepsilon_{eff}(h) \cdot \frac{MIN(q_{v,aval}(h); q_{v_prim})}{q_{v_prim}} \cdot (\theta_{entree_ech}(i) - \theta_{retour,aval}(h)) \quad (50)$$

$$\theta_{retour,ballon}(i) = \theta_{sortie_ech}(i) \quad (51)$$

On calcule également le volume prélevé dans le ballon au cours de l'itération de puisage, qui est plafonné par le volume minimal parmi ceux des zones du ballon, V_{zmin} :

$$V_{puisage}(i) = q_{v_prim} \quad (52)$$

$$V_p(i) = MIN(V_{puisage}(i); V_{zmin}) \quad (53)$$

La quantité d'énergie restant à fournir à l'issue de l'itération est la suivante :

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - V_p(i) \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\theta_{sortie,ballon}(h) - \theta_{sortie_ech}(h)) \quad (54)$$

L'arrêt du puisage est décrété, il n'y aura pas d'itération supplémentaire au pas de temps en cours :

$$ArretPuisage(i) = vrai \quad (55)$$

Par ailleurs, le paragraphe 3.3.2.4.3 relatif aux alertes en cas de report d'énergie prolongé n'est pas applicable au cas de l'appoint séparé instantané, dans la mesure où un générateur assure nécessairement le rôle d'appoint dans ce cas.

3.3.3 ACCUMULATEUR EN EAU TECHNIQUE AVEC ECHANGEUR IMMERGE DE PRODUCTION ECS

Ce paragraphe s'applique dès lors que $Type_Accumulateur_ECS = 1$) *Ballon en eau technique avec échangeur interne*.

Ce type d'accumulateur n'est pas associable avec un assemblage de type base dans un ballon principal et appoint dans un ballon séparé ($Type_Assemblage = 2$). Ainsi, si $Type_Accumulateur_ECS = 1$ et $Type_Assemblage = 2$, un message d'erreur est renvoyé avant le lancement du calcul.

3.3.3.1 Principe

L'objectif de l'algorithme est de calculer la température retour ballon et la quantité d'énergie prélevée dans les différentes zones du ballon en fonction des températures et du débit côté bâtiment.

Dans le cas d'un échangeur interne, l'eau sanitaire circule dans un échangeur immergé dans le ballon (ou double peau) partant du bas du ballon, jusqu'en haut du ballon, tel que représenté en Figure 9. Le débit d'eau circulant dans cet échangeur est directement le débit ECS, sans circulateur supplémentaire.

On introduit $h_{bas,ech,rel}$ et $h_{haut,ech,rel}$, les hauteurs relatives du bas et du haut de l'échangeur par rapport à la hauteur de cuve, exprimées en % (0-100%), telles que représentées ci-dessous :

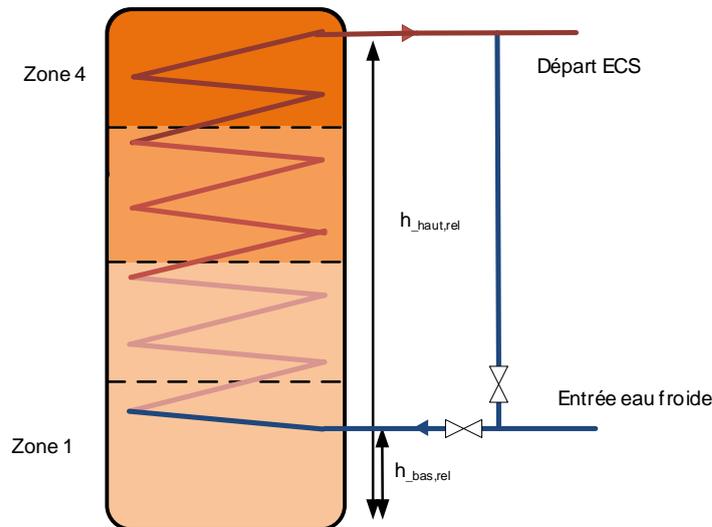


Figure 9: schéma d'illustration d'un ballon avec échangeur interne de production ECS

3.3.3.2 Conventions de calcul

Là encore, le nombre de zone par ballon est fixé à 4 et, quelle que soit la fraction faux couverte par l'appoint, le ballon est décomposé en 4 zones de tailles identiques.

$$N_{zone} = 4 \quad (56)$$

$$V_{zone} = \frac{V}{N_{zone}} \quad (57)$$

Par ailleurs, conventionnellement, l'échangeur interne est supposé couvrir l'intégralité de la hauteur du ballon: $h_{haut,ech,rel} = 100\%$ et $h_{bas,ech,rel} = 0\%$. On considèrera que cet échangeur est réparti uniformément sur toute sa longueur, et que, par conséquent, le coefficient d'échange thermique entre l'échangeur et le ballon est le même sur chacune des zones du ballon (voir relation (62)).

3.3.3.3 Préprocesseur pour le cas d'un échangeur interne

Afin de modéliser l'échangeur de production ECS interne, il nous faut déterminer la coefficient d'échange thermique de l'échangeur UA_{ech} à partir de la puissance thermique nominale P_{echECS} . Ce calcul n'est réalisé qu'une seule fois, au début de la simulation.

La puissance thermique nominale P_{echECS} , en kW, correspond à la puissance thermique de l'échangeur interne ECS pour les conditions suivantes :

- ballon stabilisé à sa température de consigne θ_{cons} , selon valeurs du
- Tableau 1,
- température d'eau froide de 15°C,
- température d'ECS de 5°C inférieure à θ_{cons} (soit 50°C en accumulateur individuel et 55°C en collectif).

Le débit d'ECS circulant dans l'échangeur au point de fonctionnement nominal est le suivant:

$$q_{v,ECS,nom} = \frac{1000 \cdot P_{echECS}}{\rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{cons} - 5^\circ C - 15^\circ C)} \quad (58)$$

Le coefficient UA_{ech} à ce point de fonctionnement nominal est calculé à partir des équations suivantes (description équivalente de l'échangeur en considérant un débit primaire infini):

$$\varepsilon_{eff,nom} = \frac{50^\circ C - 15^\circ C}{\theta_{cons} - 15^\circ C} \quad (59)$$

$$NUT_{nom} = -\ln(1 - \varepsilon_{eff,nom}) \quad (60)$$

$$UA_{ech} = \rho_e \cdot c_e \cdot q_{v,ECS,nom} \cdot NUT_{nom} \quad (61)$$

Le coefficient de transfert thermique de l'échangeur interne, UA_{ech} est réparti pour chacune des zones qu'il traverse, au prorata des tailles de ces zones et de la position de l'échangeur. Soit $UA_{ech[z]}$ le coefficient de transfert thermique correspondant à la portion qui traverse la zone d'indice z :

$$UA_{ech[z]} = \frac{V_{zone}}{V} \cdot UA_{ech} \quad (62)$$

3.3.3.4 Algorithme au pas de temps horaire : cas des assemblages base seule ou base et appoint intégré (Type_Assemblage = 0 ou 1)

3.3.3.4.1 Modélisation de l'échangeur interne de production ECS (puisage)

Pour la modélisation du puisage, le débit aval circulant à l'intérieur de l'échangeur interne est considéré égal au débit ECS moyen calculé au §3.3.1. La température entrant dans l'échangeur est la température d'eau froide :

$$q_{v,aval}(h) = q_{v,ef,ecs}(h) \quad (63)$$

$$\theta_{retour,aval}(h) = \theta_{ef}(h) \quad (64)$$

Dans un premier temps, pour chaque zone du ballon, on définit un Nombre d'Unité Thermique $NUT_{ech[z]}(h)$ par la relation suivante :

Pour z allant de 1 à N_{zone} :

$$NUT_{ech[z]}(h) = \frac{UA_{ech[z]}}{q_{v,aval}(h) \cdot \rho_w \cdot c_w} \quad (65)$$

Calcul à l'intérieur de la boucle itérative de puisage :

Chaque zone du ballon peut fournir à l'échangeur une quantité d'énergie qui dépend de sa température initiale. En parallèle, la quantité d'énergie fournie réduit la température des zones au fur et à mesure où le puisage s'effectue.

Ainsi, il peut potentiellement survenir un instant « t » où la température en sortie d'échangeur devient inférieure à la température d'ECS souhaitée.

Pour prendre en compte cette logique, on recourt à la simplification suivante :

- le calcul utilise sur une boucle itérative à l'intérieur du pas de temps. A chaque itération, on réalise un nouveau calcul des températures de zone et de sortie d'échangeur en ne considérant qu'une fraction de la quantité d'énergie totale puisée, $Q_{iter,ecs}$, équivalente à une diminution globale de la température de ballon de 2°C. Ce pas d'itération est choisi pour que la dérive de température de sortie soit suffisamment faible sur une itération donnée,
- à chaque itération, si la température en sortie d'échangeur $\theta_{sortie,ballon}$ est suffisante, le puisage a lieu. Dans le cas contraire, on reporte la quantité d'énergie qui n'a pas pu être prélevée dans $Q_{w-sto-int-report}(i)$.

Soit « i » l'entier utilisé comme indice de la boucle itérative. Chaque itération de la boucle se voit attribuer une fraction du besoin ECS égale à $Q_{iter,ecs}$, calculée comme expliquée plus haut :

$$Q_{iter} = V_{tot} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot 2^\circ C \quad (66)$$

Ensuite, au cours de l'itération :

$$Q_w(i) = MIN(Q_{w-sto-unit}(i) ; Q_{iter,ecs}) \quad (67)$$

Pour la zone d'indice z = 1:

$$Q_{max[1]}(i) = V_{[1]} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot MAX(0 ; \theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h)) \quad (68)$$

$$\Delta\theta_{deb[1]}(i) = MAX\left(0 ; \frac{\theta_{b[1]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h)}{\frac{1}{NUT_{ech[1]}(h)} + 0,5}\right) \quad (69)$$

Pour chaque zone d'indice z > 1:

$$Q_{max[z]}(i) = V_{[z]} \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot MAX(0 ; \theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{entrant}(h)) \quad (70)$$

$$\Delta\theta_{deb[z]}(i) = MAX\left(0 ; \frac{\theta_{b[z]}(i-1) - \theta_{retour,aval}(h) - \sum_{k=1}^{z-1} \Delta\theta_{deb[k]}(i)}{\frac{1}{NUT_{ecs[z]}(h)} + 0,5}\right) \quad (71)$$

La température de puisage ECS disponible au début de l'itération i est donc :

$$\theta_{sortie,ballon}(i) = \theta_{entrant}(h) + \sum_{z=1}^{Nzone} \Delta\theta_{deb[z]}(i) \quad (72)$$

Cas $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon sont suffisantes pour puiser à la température souhaitée. On prélève une quantité d'énergie dans chaque zone proportionnellement à sa contribution à l'élévation de la température d'ECS :

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN\left(Q_{max,ecs[z]}(i) ; \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{sortie,ballon}(i) - \theta_{retour,aval}(h)} \cdot Q_w(i)\right) \quad (73)$$

Cas $\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)$: à cette itération, les températures à l'intérieur du ballon ne sont pas suffisantes pour puiser à la température d'usage souhaitée.

$$Q_{prelevee[z]}(i) = 0 \text{ Wh} \quad (74)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}(i) = Q_{w-sto-unit}(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (75)$$

3.3.3.4.2 Modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon

Dans le cas d'un réseau ECS bouclé ($qv_{boucleecs}(h) > 0$), on modélise séparément le prélèvement d'énergie correspondant au réchauffage du réseau bouclé ECS. L'approche est identique à celle des échangeurs externes : voir §3.3.2.4.2.

3.3.3.4.3 Alerte sur le nombre d'heures successives en situation de report d'énergie

A l'issue de la dernière itération de la boucle puisage et de la modélisation du réchauffage de boucle ECS par le ballon, on dispose de la quantité d'énergie reportée au pas de temps $h+1$, $Q_{w,sto,unit,report}(h)$.

Si le nombre d'heures successives où $Q_{w,sto,unit,report}(h)$ est non-nul dépasse les 12h, le calcul renvoie un message d'erreur et est suspendu.

3.3.3.5 Algorithme au pas de temps horaire : cas spécifique de l'assemblage appoint séparé instantané (Type_Assemblage = 3)

Dans le cas spécifique des assemblages à appoint séparé instantané, l'échangeur interne peut jouer uniquement un rôle de préchauffage de l'eau, sans l'amener à la température départ voulue. Un générateur d'appoint, connecté en série avec l'échangeur, vient alors compléter la puissance apportée de manière à relever la température départ.

L'algorithme décrit au §3.3.3.4.1 devient alors le suivant :

Si $\theta_{sortie,ballon}(i) \geq \theta_{depart,aval}(h)$: le puisage peut être assuré par le ballon seul. On applique l'équation (73) pour chaque zone du ballon.

Sinon, si $\theta_{sortie,ballon}(i) < \theta_{depart,aval}(h)$ et $\theta_{sortie,ballon}(i) > \theta_{retour,aval}(h)$, l'échangeur interne peut assurer un rôle de préchauffage de l'eau. Sa puissance thermique est limitée par la température en sortie du ballon. A chaque itération de puisage, il y a donc une certaine quantité d'énergie qui est couverte par le générateur d'appoint.

Le calcul de la quantité d'énergie prélevée dans le ballon est modifié de la manière suivante :

Pour chaque zone d'indice z :

$$Q_{prelevee[z]}(i) = MIN \left(Q_{max,ecs[z]}(i) ; \frac{\Delta\theta_{deb[z]}(i)}{\theta_{depart,aval}(h) - \theta_{retour,aval}(h)} \cdot Q_w(i) \right) \quad (76)$$

A l'itération i , la quantité d'énergie qui resterait à fournir pour atteindre $\theta_{depart,aval}(h)$ en sortie de production ECS est ajoutée à la part non-assurée par le ballon $Q_{non-assuree}(i)$:

$$Q_{non-assuree}(i) = Q_{non-assuree}(i-1) + Q_w(i) - \sum_{z=1}^{Nzone} Q_{prelevee[z]}(i) \quad (77)$$

Le bilan de l'itération du point de vue du besoin ECS est le suivant :

$$Q_{w-sto-unit-report}(i) = Q_{w-sto-unit}(i) - Q_w(i) \quad (78)$$

Ici se termine l'algorithme relative à une itération de la boucle de puisage.

A l'issue de la boucle de puisage, la quantité d'énergie $Q_{non-assuree}(i)$ de la dernière itération est ajoutée à la quantité d'énergie totale à fournir par l'appoint ECS :

$$Q_{w,sto,unit,report}(h) = Q_{w-sto-unit-report}(i) + Q_{non-assuree}(i) \quad (79)$$