

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 26 juin 2015 abrogeant et remplaçant l'arrêté du 5 octobre 2012 relatif à l'agrément de la demande de titre V relative à la prise en compte du système « Solar Pump® » dans la réglementation thermique 2012

NOR : ETL1512751A

(Texte non paru au *Journal officiel*)

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

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-B-C-E 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^{er}

Conformément à l'article 50 de l'arrêté du 26 octobre 2010 susvisé et à l'article 40 de l'arrêté du 28 décembre 2012 susvisé, le mode de prise en compte du système « Solar Pump », dans la méthode de calcul Th-B-C-E 2012, définie par l'arrêté du 30 avril 2013 susvisé, est agréé selon les conditions d'application définies en annexe.

Article 2

L'arrêté du 5 octobre 2012 susvisé est abrogé et remplacé par le présent arrêté.

Article 3

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

Fait le 26 juin 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 chef du service du climat
et de l'efficacité énergétique,*

P. DUPUIS

ANNEXE 1

MODALITÉS DE PRISE EN COMPTE DU SYSTÈME «SOLAR PUMP» DANS LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE 2012

1/ Définition du système

Au sens du présent arrêté, le système « Solar Pump » est destiné à la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) collective. Le principe est le couplage de deux techniques: la Pompe à Chaleur (PAC) et un capteur solaire thermique sans vitrage de marque GIORDANO. La PAC de marque GIORDANO est de type Eau glycolée/Eau.

Le système est constitué d'un ensemble où les parties thermodynamiques, hydrauliques et électriques sont prémontés d'usine et raccordés sur un châssis pour former un ensemble complet qui se connecte d'une part au capteur et d'autre part aux ballons de stockage d'ECS.

Le système est disponible en 2 versions :

- Version « PAC seule » : le capteur est directement utilisé en tant que source d'énergie de la pompe à chaleur.
- Version « Solaire direct » : le capteur peut être utilisé aussi bien en source d'énergie pour la pompe à chaleur, que pour préchauffer l'eau chaude sanitaire en utilisant directement l'énergie solaire (sans l'apport du groupe thermodynamique)

La machine est toujours associée à un appoint (résistance électrique placée dans les ballons de stockage d'ECS ou chaudière en série du système) permettant de satisfaire le besoin en ECS pour les cas de température extérieure basse ou de besoins énergétiques exceptionnels et supérieurs à ceux pour lesquels la machine a été dimensionnée.

Le présent arrêté couvre une gamme de 6 machines (SOLAR PUMP® 10kW, 15kW, 23kW, 2x10kW, 2x15kW, 2x23kW) de capacités de production d'ECS différentes permettant de répondre à des besoins allant de 2500 à 20 000 Litres d'Eau Chaude Sanitaire à 40 °C par jour.

2/ Domaine d'application

La présente méthode est applicable pour l'ensemble des bâtiments définis dans la méthode Th-BCE, excepté les maisons individuelles, équipés de capteurs non vitrés de marque GIORDANO, d'une PAC de marque GIORDANO, d'un échangeur solaire (cas version Solaire Direct) et de pompes hydrauliques et de ballons de stockage ECS.

Pour le cas des configurations 2x10kW, 2x15kW, 2x23kW les PAC sont installées en parallèle.

L'ensemble PAC, échangeurs solaire et ballon(s) est installé en chaufferie.

Tous les générateurs d'appoint de type combustion peuvent être considérés. Les générateurs thermodynamiques et poêle bois sont exclus des appoints possibles. Si l'appoint est électrique, il sera uniquement au sein du stockage ECS pour le maintenir en température. Dans le cas d'un appoint hydraulique, il sera alors en série du stockage ECS.

3/ Méthode de prise en compte

3.1 Méthodologie générale

La présente méthode s'appuie sur deux algorithmes :

- « Production stockage » qui décrit le système Solar Pump de Giordano pour le fonctionnement en version PAC seule mais aussi pour le fonctionnement avec le solaire direct. Trois composants constituent cet algorithme : le « Module Ballon », le « Module solaire » et le « Module PAC »
- « Boucle solaire » permet la récupération des données d'ensoleillement sur les capteurs solaires.

3.1.1.1 NOMENCLATURE DE LA BOUCLE SOLAIRE

Gestion/régulation
de la génération

Entrées du module ¹		
Nom	Description	Unité
Isr_star(h)	Irradiance (ensoleillement) sur le plan des capteurs	W/m ²
Id_Mas(h)	Définit un accesseur get et set pour l'indice des masques	-
Id_Ori	Indicateur de l'orientation	-
Masque_Collection	Référence sur la collection des masques dans le moteur COMETH	-

Paramètres de l'interface ²				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
Name	Nom du composant	-	-	-
Index	Identifiant unique du composant	-	[0 ; +∞[-
Rdim	Nombre de composants identiques	-	[1 ; +∞[1
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]	-
Beta	Inclinaison du capteur solaire (0° : horizontale vers le haut ; 90° : verticale)	°	[0 ; 90]	-
Masque_Collection	Collection des masques proches	-	-	-
Is_regulateur_temperature	Présence d'un régulateur sur la température. Sinon c'est sur le rayonnement.	-	-	-
COMETH_Masque_Collection	Référence sur la collection des masques dans le jeu de données d'entrée de COMETH	-	-	-
Id_Mas	Définit un accesseur get et set pour l'indice des masques	-	-	-
Id_Ori	Indicateur de l'orientation	-	[0 ; +∞[-

Sorties		
Nom	Description	Unité
Id_Fou_Gen	Fonction du générateur : 1 : Chauffage, 2 : Refroidissement,	-

¹ Valeurs opérées par d'autres modules.

² Rentrés par l'utilisateur.

	3 : ECS, 4 : Chauffage et ECS, 5 : Chauffage et refroidissement.	
Pmax(h)	Puissance maximale du générateur	W
Ø_vc(h)	Pertes thermiques et puissances des auxiliaires du générateur transmises à l'ambiance	Wh
Q_cons(h)	Puissance consommée par le générateur	Wh
Q_fou(h)	Puissance fournie par le générateur	W
Qprelec(h)	Production électrique du générateur	Wh
Qrest(h)	Energie restant à fournir à la fin du pas de temps, faisant l'objet d'un report de demande à un autre générateur en séquence ou au pas de temps suivant	Wh
Taux_charge(h)	Taux de charge du générateur	-
Waux_Pro(h)	Consommation des auxiliaires au pas de temps h	Wh
P_sol(h)	Puissance transférée à l'échangeur	W
P_p(h)	Puissance consommée par la pompe	W

3.1.2 NOMENCLATURE DE L'ALGORITHME « PRODUCTION STOCKAGE »

Entrées du module ³			
	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
Climat	θamb(h)	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
	Text(h)	Température extérieure du site	°C
	θcw(h)	Température de l'eau froide alimentant les systèmes de production d'ECS	°C
Assemblage	Heure_legale	Heure légale	h
	Tz(h-1)	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) au pas de temps précédents	°C

Paramètres de l'interface ⁴				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Def.
Name	Nom du composant	-	-	-

³ Valeurs opérées par d'autres modules.

⁴ Rentrés par l'utilisateur.

Index	Identifiant unique du composant	-	[0 ; +∞[-
Rdim	Nombre de composants identiques	-	[1 ; +∞[1
θmax_av_Igen	Température aval maximale pour le chauffage	°C	[0 ; +∞[-

Paramètres du module ⁵				
Nom	Description	Unité	Intervall e ⁶	Def. ⁷
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage [module PAC, module Boucle Solaire et module Ballon]	-	-	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
Id_Fou_Gen	Fonction du générateur : 1 : Chauffage, 2 : Refroidissement, 3 : ECS, 4 : Chauffage et ECS, 5 : Chauffage et refroidissement.	-
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
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
{Q_cef_Ch(h)}	Tableau des consommations en énergie finale pour le chauffage en fonction des	Wh

⁵ Rentrés par l'utilisateur.

⁶ 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.).

⁷ Valeur par défaut.

	énergies utilisées (Gaz, Fioul, Charbon, Bois, Electricité, Réseau de fourniture)	
$Tz^{sol}(h)$	Température de la zone du ballon préchauffeur solaire numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C
$Tz(h)$	Température de la zone du ballon de base ECS PAC numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes ⁸		
Nom	Description	Unité
$Q_{req_ballon_ecs}(h)$	Demande en ECS transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
$Q_{w_sto_unit_report}(h)$	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
$T_{ballon_i_it}^z$	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
$Q_{sol}^{int}(h)$	Energie potentiellement transférable par la boucle en solaire direct au ballon préparateur solaire	Wh
$P_{fournie_solaire_direct}(h)$	Energie transférée par la boucle en solaire direct au ballon préparateur solaire	Wh
$P_{fournie1}(h)$	Energie transférée à la partie basse du ballon de base ECS PAC	Wh
$P_{fournie3}(h)$	Energie transférée à la partie haute du ballon de base ECS PAC	Wh
$Aux1(h)$	Energie auxiliaire consommée par la charge basse du ballon de base	Wh
$Aux3(h)$	Energie auxiliaire consommée par la charge haute du ballon de base	Wh
$Aux_{solaire_direct}(h)$	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire direct, en énergie finale	Wh
$\Phi_{amb1}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance lors du fonctionnement de la boucle solaire pour la charge basse du ballon	Wh
$\Phi_{amb3}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance lors du fonctionnement de la boucle solaire pour la charge haute du ballon	Wh
$\Phi_{amb_solaire_direct}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	Wh
$Pertes_ballon(h)$	Pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps h	W
$Q_{req_sto_app}(h)$	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa	Wh

⁸ Variables utilisées uniquement dans le module courant.

	température de consigne	
$\theta_{\text{aval_mod}}(h)$	Température aval à envoyer au générateur	°C
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage [module PAC, module Boucle Solaire et module Ballon]	-

Constantes ⁹			
Nom	Description	Unité	Conv.
-	Voir fiches algorithmes des composants de l'assemblage [module PAC, module Boucle Solaire et module Ballon]	-	-

3.1.3 DESCRIPTION DE L'ALGORITHME « PRODUCTION STOCKAGE »

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.

L'assemblage fonctionne en mode ECS seule. Le cas où le générateur d'appoint assure le chauffage instantané est également envisagé :

$$Id_{\text{fousto}} = Id_{\text{fougen}} = 3$$

Ou

$$Id_{\text{fousto}} = 3 \text{ et } Id_{\text{fougen}} = 4$$

Le positionnement du ballon est identique à celui de la génération dans laquelle il se trouve.

Ainsi, le système se trouve à θ_{amb} température ambiante de la génération définie par la méthode Th-BCE.

Ordre des calculs

L'ordre des calculs suit les étapes préconisées dans la méthode Th-BCE 2012 :

Première étape: besoins d'ECS aux bornes du(des) ballon(s)

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 :

⁹ Constantes (ex : chaleur spécifique de l'eau) et conventions.

$$Q_{req_ballon_ecs}(h) = \frac{Q_{req_ecs}(h)}{R_{dim}} \quad (1)$$

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

Cette partie permet la détermination du volume puisé pour répondre aux besoins ECS et des températures du ballon après puisage. 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 « *Module Ballon* » (cf ANNEXE 2) est utilisée. La partie *Calcul du volume puisé et des températures après puisage ECS* de la fiche décrit l'obtention des températures du ballon après puisage ECS.

Dans le cas où la Solar Pump permet le solaire direct, un ballon supplémentaire est nécessaire. Les températures après puisage de ce ballon (préparateur solaire) sont alors calculées dans cette étape.

Troisième étape : calculs des pertes du(des) ballon(s)

Le calcul des pertes du ballon est décrit plus amplement dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon* ». Dans le cas où la Solar Pump permet le solaire direct, un ballon supplémentaire est nécessaire et les pertes y sont calculées de la même façon.

Quatrième étape : Application des apports du système SOLAR PUMP au ballon

Dans cette quatrième étape décrivant les apports de la SOLAR PUMP, il existe deux phases de calculs dans le cas d'une SOLAR PUMP en version PAC seule et trois phases de calcul dans le cas d'une SOLAR PUMP en version solaire direct.

1^{ère} phase : Apports à la zone haute du ballon

Pour calculer les probables apports de la SOLAR PUMP au ballon, il s'agit dans un premier temps d'identifier si la partie haute du ballon (zones 3 et 4 du ballon de base ECS PAC correspondant à la zone chaude Z1 dans la demande de titre V) est en demande d'énergie. En cas de demande d'énergie, le calcul de la puissance de base requise permet de déterminer la puissance nécessaire à la remontée en température de la zone haute du ballon (via le fonctionnement de la PAC).

Les procédures « *regul_base3* » et « *calc_puiss_requise_base3* » (décrites dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon* ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « *P_{base_requise3}* ».

Il est ensuite nécessaire de calculer la puissance de base que peut fournir la PAC (cf fiche algorithmique du «*Module PAC*»). Pour ce faire, la température aval de la PAC est prise comme la température de la zone chaude du ballon au pas de temps précédent.

$$T_{\text{aval_PAC}}(h) = T_{\text{ballon}}^{z=3}(h-1) \quad (2)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du «*Module Solaire*»). La température amont prise en compte dans les calculs est limitée à 18,5°C (cf matrices de COP de puissances absorbées dans l'annexe 3).

Une fois la température aval et la température amont obtenues, la puissance pouvant être fournie par la PAC «*P_{potentielle_PAC3}*» et le COP «*COP₃*» de cette dernière sont calculés (cf fiche algorithmique du «*Module PAC*»). La puissance réellement fournie «*P_{fournie3}*» et la consommation liée à l'énergie fournie à la partie haute du ballon «*Conso3*» sont ensuite calculées :

$$P_{\text{fournie3}} = \min(P_{\text{potentielle_PAC3}}, P_{\text{base_requis3}}) \quad (3)$$

$$\text{Conso}_3 = \frac{P_{\text{fournie3}}}{\text{COP}_3} \quad (4)$$

En fonction de la puissance fournie, du COP et de la température amont retenue, une température de sortie de PAC $T_{\text{sortie_HX_PAC}}$ est calculée (cf «*Module Solaire*»).

Le paramètre « *$\tau_{\text{charge_haut}}$* » renseigne alors la part d'énergie que la PAC va fournir à la partie haute du ballon par rapport à l'énergie requise

$$\tau_{\text{charge_haut}} = \min\left(\frac{P_{\text{base_requis3}}}{P_{\text{potentielle_PAC3}}}, 1\right) \quad (5)$$

La température de sortie est modulée en fonction du taux de charge.

$$T_{\text{sortie_capteur_corrigée}} = T_{\text{entrée_capteur}} + \tau_{\text{charge}} \times (T_{\text{sortie_capteur}} - T_{\text{entrée_capteur}}) \quad (6)$$

Avec $T_{\text{entrée_capteur}}$ la température d'entrée capteur (température de sortie amont PAC du fonctionnement précédent)

Il permet alors de moduler les consommations d'auxiliaire associées (dans le cas d'un fonctionnement partiel pendant l'heure) :

$$\text{Aux}_3 = \tau_{\text{charge_haut}} \times W_{\text{aux_boucle_solaire}} \quad (7)$$

$$\phi_{\text{amb3}} = \tau_{\text{charge_haut}} \times \phi_{\text{boucle_solaire}} \quad (8)$$

Le taux de charge haut permet également de conditionner le reste des calculs. En effet, si ce taux de charge est égal à 1, la PAC a fourni tout ce qu'elle pouvait et les 2 éventuelles étapes

suivantes ne sont pas nécessaires (le calcul passe à la cinquième étape). Dans le cas où le taux de charge est inférieur à 1, le calcul se poursuit à la phase suivante.

2ème phase : Apports au ballon supplémentaire de la puissance solaire (uniquement dans le cas de la PAC en version solaire direct)

La 2^{ème} phase consiste dans un premier temps à vérifier si le solaire direct est possible au pas de temps horaire. La possibilité ou non de fonctionner en solaire direct est décrite dans la fiche algorithmique «*Module Boucle Solaire*».

Si le solaire direct est possible, la procédure d'apport solaire est ensuite appelée pour calculer l'apport solaire « Q_{sol_int} » (cf «*Module Boucle Solaire*») à apporter au ballon solaire. La fiche algorithmique «*Boucle Solaire*» de Production Stockage précise alors que le solaire direct est modélisé de façon similaire aux règles Th-BCE avec une température moyenne vue par l'échangeur solaire équivalente à la température moyenne du ballon préparateur solaire. Les consommations auxiliaires liées aux pompes fonctionnant en mode solaire direct ($AUX_{solaire_direct}$) et les pertes thermiques de la boucle solaire vers l'ambiance ($\phi_{solaire_direct}$) sont également prises en compte à ce niveau.

Si le solaire direct n'est pas envisageable au pas de temps horaire, le calcul est dirigé directement vers la phase suivante sans le calcul de « Q_{sol_int} ».

Le solaire direct peut fonctionner (et donc charger le ballon préparateur solaire) simultanément avec la charge de la zone haute du ballon par la PAC (ballon de base ECS PAC). Ainsi, une correction est effectuée à l'issue de ces 3 phases pour ne pas apporter au ballon préparateur solaire la totalité de Q_{sol_int} [cf équation (16)]. De même, $AUX_{solaire_direct}$ et $\phi_{solaire_direct}$ sont corrigées au prorata de ce qui est réellement fournie au ballon [cf équation (17) et (18)].

3ème phase : Apports à la zone basse du ballon

Cette phase est à considérer pour identifier si la partie basse du ballon (zones 1 et 2 du ballon de base ECS PAC) est en demande d'énergie. En cas de demande d'énergie, le calcul de la puissance de base requise permet de déterminer la puissance nécessaire à la zone basse du ballon.

Les procédures «*regul_base1*» et «*calc_puiss_requise_base1*» (décrites dans la fiche algorithmique du «*Module Ballon*») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise «*Puissance_base_requise1*».

Il est ensuite nécessaire de calculer la puissance de base que peut fournir la PAC (cf fiche algorithmique du «*Module PAC*»). Pour ce faire, la température aval de la PAC est prise comme la température de la zone basse du ballon au pas de temps précédent.

$$T_{\text{aval_PAC}}(h) = T_{\text{ballon}}^{z=1}(h-1) \quad (9)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du «*Module Solaire*»). La température amont prise en compte dans les calculs est limitée à 18,5 °C (cf matrices de COP de puissances absorbées dans l'annexe 3). Une fois la température aval et la température amont obtenues, la puissance potentiellement fournie par la PAC « $P_{\text{PAC_potentielle_fournie1}}$ » et le COP « COP_1 » de cette dernière sont calculés (cf fiche algorithmique du «*Module PAC*»). La puissance potentielle fournie par la PAC à la partie basse du ballon est modulée « $P_{\text{PAC_potentielle_fournie1_modulée}}$ » en fonction du fonctionnement préalable de la PAC pour la partie haute du ballon (fonctionnement haut et bas simultané interdit mais il est bien possible de faire fonctionner le haut et le bas pendant une heure). Cette modulation de la puissance disponible permet donc de ne pas récupérer plus d'énergie que l'énergie réellement disponible.

$$P_{\text{PAC_potentielle_fournie1_modulée}} = (1 - \tau_{\text{charge_haut}}) \times P_{\text{PAC_potentielle_fournie1}} \quad (10)$$

La puissance réellement fournie « P_{fournie1} » et la consommation liée à l'énergie fournie à la partie basse du ballon « Conso_1 » sont ensuite déduites :

$$P_{\text{fournie1}} = \min(P_{\text{PAC_potentielle_fournie1_modulée}}, P_{\text{base_requis1}}) \quad (11)$$

$$\text{Conso}_1 = \frac{P_{\text{fournie1}}}{\text{COP}_1} \quad (12)$$

En fonction de la puissance fournie, du COP et de la température amont retenue, une température de sortie de PAC $T_{\text{sortie_HX_PAC}}$ est une nouvelle fois calculée (cf «*Module Solaire*»). Elle est à nouveau corrigée en fonction du fonctionnement partiel de la boucle pendant l'heure.

Le paramètre « $\tau_{\text{charge_bas}}$ » permet alors de moduler les consommations d'auxiliaire associées. Par rapport à la 1^{ère} phase, le calcul du taux de charge bas prend en compte que le ballon ne peut pas être chargé par le haut et par le bas en même temps :

$$\tau_{\text{charge_bas}} = \min\left(1 - \tau_{\text{charge_haut}}, \frac{P_{\text{base_requis1}}}{P_{\text{PAC_potentielle_fournie1_modulée}}}\right) \quad (13)$$

$$\text{Aux}_1 = \tau_{\text{charge_bas}} \times W_{\text{aux_boucle_solaire}} \quad (14)$$

$$\phi_{\text{amb1}} = \tau_{\text{charge_bas}} \times \phi_{\text{boucle_solaire}} \quad (15)$$

La somme des consommations auxiliaires « Aux₁ » et « Aux₃ » correspondent alors à la consommation totale de la pompe de captage PAC. Il reste alors à comptabiliser la consommation « Aux_{ECS} » correspondant à la pompe de charge du ballon ECS.

$$Aux_{ECS} = (\tau_{charge_bas} + \tau_{charge_haut}) \times Pp_{ECS_nom} \quad (16)$$

Après ces 3 phases de calcul des apports effectuées, il est important de corriger la puissance solaire à fournir dans le cas du solaire direct possible. En effet, la puissance solaire transférée au ballon préparateur solaire doit être minorée par les puissances récupérées lors du fonctionnement de la boucle solaire en PAC seule.

$$P_{fournie_solaire} = Q_{sol_int} - P_{fournie1} \left(1 - \frac{1}{COP_1}\right) - P_{fournie3} \left(1 - \frac{1}{COP_3}\right) \quad (17)$$

Une correction est donc appliquée pour les auxiliaires solaires et les pertes récupérables par rapport aux valeurs précédemment calculées :

$$AUX_{solaire_direct} = AUX_{solaire_direct} \frac{P_{fournie_solaire}}{Q_{sol_int}} \quad (18)$$

$$\phi_{solaire_direct} = \phi_{solaire_direct} \frac{P_{fournie_solaire}}{Q_{sol_int}} \quad (19)$$

Cinquième étape : Application des apports de la SOLAR PUMP et des pertes thermiques du ballon

Après avoir déterminé les températures après puisage pour l'ECS (deuxième étape) ainsi que les pertes (troisième étape) et les apports (quatrième étape) du(des) ballon(s), les nouvelles températures au sein du(des) ballons sont déterminées.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du «*Module Ballon*» est utilisée.

Dans le cas de la Solar Pump avec solaire direct possible, les températures du ballon préparateur solaire sont calculées. Dans tous les cas, les températures du ballon chargé par la PAC de la Solar Pump sont déterminées.

Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon de base ECS PAC

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir la zone chauffée (z=3 et z=4 du ballon de base ECS PAC) par l'appoint à la température de consigne. Tous les générateurs d'appoint peuvent être considérés à l'exception des générateurs thermodynamiques et des poêles bois.

Par la suite les algorithmes sont utilisés des générateurs, qui à partir de l'énergie requise $Q_{req_sto_ap}(h)$, de la température moyenne vue par l'échangeur de charge

$T_{moy_ech_charge}(h)$ et de son coefficient d'échange, déterminent l'énergie réellement fournie au ballon $Q_{fou_sto_ap}(h)$.

En effet nous avons la température aval modifié renvoyé au générateur :

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{moy_ech_charge}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap}(h); P_{max} \times R_{dim})}{UA_{hx_charge}} \quad (20)$$

Il est également prévu que les appoints puissent fonctionner en série du ballon (cas appoint par combustion) :

Le ballon n'est ainsi pas rechargé par l'appoint et un puisage dans celui-ci est alors possible même si il n'est pas à consigne. Une température de puisage inférieure à 55°C est alors calculée afin d'estimer la puissance d'appoint requise.

$$Q_{req_sto_ap}(h) = 1,163 \times Vp \times (55 - T_{puisée}(h)) \quad (21)$$

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{puisée}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap}(h); P_{max} \times R_{dim})}{UA_{hx_charge}} \quad (22)$$

Le coefficient d'échangeur est pris comme celui défini dans les règles Th-BCE (11.12)

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. Dans le cas d'un appoint en série, l'énergie nécessaire à l'appoint ne sera pas fournie au ballon.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Module Ballon* » est utilisée. La fiche renvoie les températures des différentes zones du ballon après prise en compte de l'énergie fournie par l'appoint $T_z(h)$.

Huitième étape : générateur pour stockage avec fonction chauffage instantané

Après avoir fourni l'énergie d'appoint au ballon, le générateur d'appoint est appelé une seconde fois avec le besoin de chauffage suivant :

$$Q_{req_assemb_ch}(h) = \frac{Q_{req_ch}(h)}{R_{dim}} \quad (23)$$

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.

Traitement des données de sortie

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

- du compresseur de la SOLAR PUMP ;
- du système d'appoint ;
- des pompes de la boucle de captage et de la boucle de charge ECS.

Calcul des consommations

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

$$\{Q_{cef(po;Idengen)}^{assemblage}(h)\} = R_{dim} \times \left(\begin{array}{l} W_{aux_SOLAR_PUMP}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\} \\ + Q_{cons_PAC_SOLAR_PUMP}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\} \\ + Q_{cons}^{gnr_ap}(h) \times \left(\frac{Q_{req_ch}(h) \cdot \{E_{(1;Idengen)}\} + Q_{req_ecs}(h) \cdot \{E_{(3;Idengen)}\}}{Q_{req_ch}(h) + Q_{req_ecs}(h)} \right) \\ + W_{aux_pro}^{gnr_ap}(h) \times \left(\frac{Q_{req_ch}(h) \cdot \{E_{(1;50)}\} + Q_{req_ecs}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\}}{Q_{req_ch}(h) + Q_{req_ecs}(h)} \right) \end{array} \right) \quad (24)$$

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

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. Ainsi, le besoin n'est pas reporté au pas de temps suivant au niveau du générateur mais par le fait que les températures du ballon sont en dessous de la température de départ ECS (équation (16) du Module Ballon).

$$Q_{rest_ecs}^{gnr_ap}(h) = 0 \quad (25)$$

Calcul des pertes thermiques récupérables

Les éventuelles pertes en volume chauffé du générateur d'appoint issues de la fiche algorithme « Générateur » sont comptabilisées :

$$\phi_{vc}^{gnr}(h) \leftarrow \phi_{vc}^{gnr}(h) \times R_{dim} \quad (26)$$

ANNEXE 2

FICHE ALGORITHME – MODULE BALLON

4/ Introduction

La modélisation du ballon décrite dans cette fiche définit les charges et décharges du ballon ainsi que les algorithmes de régulation associés. Le ballon de base ECS PAC correspond au ballon chargé par la PAC ayant pour source amont les capteurs solaires. Le ballon préparateur solaire correspond au ballon lors d'une Solar Pump en version solaire direct. L'ensemble est modélisé dans la partie « Production Stockage ».

5/ Nomenclature du module ballon

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
$T_z(h-1)$	Température de la zone numéro z ($z=[1 :4]$) au pas de temps $h-1$ du ballon de base ECS PAC	°C
$T_z^{sol}(h-1)$	Température de la zone numéro z ($z=[1 :4]$) au pas de temps $h-1$ du ballon préparateur solaire	°C
$Q_{req}(h)$	Demande en ECS transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
$Q_{w_sto_unit_report}(h-1)$	Energie non assurée au pas de temps $h-1$, reportée au pas de temps courant	Wh
$marche_base1(h-1)$	Indicateur de fonctionnement de la Solar Pump pour une charge basse du ballon de base au pas de temps $h-1$	-
$marche_base3(h-1)$	Indicateur de fonctionnement de la Solar Pump pour une charge haute du ballon de base au pas de temps $h-1$	-
$marche_appoint(h-1)$	Indicateur de fonctionnement de l'appoint au pas de temps $h-1$	-
$P_{fournie1}(h)$	Energie à transférer au bas du ballon de base ECS PAC [via assemblage et le module PAC]	Wh
$P_{fournie3}(h)$	Energie à transférer au haut du ballon de base ECS PAC [via assemblage et le module PAC]	Wh
$P_{fournie_solaire}(h)$	Energie solaire à transférer au ballon préparateur solaire [via assemblage par le module boucle solaire]	Wh
$Text(h)$	Température extérieure	°C
$I_{sr}^*(h)$	Ensoleillement sur le plan des capteurs	Wh/m ²
$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide alimentant le système de production d'ECS	°C
Heure_legale	Heure légale	h

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
V_{tot}	Volume total du ballon de base	L	[1 ; +∞[-
statut_donnee_UA	La valeur du coefficient de pertes thermiques du ballon de base vers l'ambiance est une donnée : 0 : Certifiée, 1 : Justifiée par un essai effectué par un	-	[0 ; 2]	-

	laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO, 2 : Par défaut.			
UA_s	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	[0 ; +∞[-
V _{tot solaire}	Volume total du ballon préparateur solaire	L	[1 ; +∞[-
statut_donnee_UA _{solaire}	La valeur du coefficient de pertes thermiques du ballon préparateur solaire 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 _{solaire}	Coefficient de pertes thermiques du ballon préparateur solaire	W/K	[0 ; +∞[-
θ _{b_max}	Température maximale du ballon de base ECS PAC et du préparateur solaire	°C	[70 ; 100]	85
θ _{depart_ecs}	Température de départ de la distribution d'ECS fixée à 55°C	°C	55	55
f _{aux}	Fraction effective concernée par l'appoint	-	[0 ; 1]	0.33
Type_gestion_appoint	Type de gestion du thermostat d'appoint du ballon : 0 : Chauffage permanent 1 : Chauffage de nuit	-	[0 ; 1]	-
θ _{consigne_ballon}	Température de consigne du ballon	°C	[30 ; 100]	-
Δ _{θconsigne_ballon}	Hystérésis du système de régulation	°C	[0 ; 10]	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
Qw_sto_unit_report(h)	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
T _{puis} [z]	Température de la zone du ballon de base ECS PAC numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
T _{puis} ^{sol} [z]	Température de la zone du ballon préparateur solaire numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
Qsol(h)	Energie transférée par la boucle solaire au ballon préparateur solaire	Wh
Pertes _{ballon} (h)	Pertes thermiques du ballon de base	W

	ECS PAC à la fin du pas de temps h	
$Pertes_{ballon}^{sol}(h)$	Pertes thermiques du ballon préparateur solaire à la fin du pas de temps h	W
$T_{bal_moy_sol_HX}(h)$	Température moyenne vu par l'échangeur solaire dans le ballon préparateur solaire	°C
$Q_{req_sto_app}$	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
$T[z]$	Température de la zone du ballon de base ECS PAC numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C
$T^{sol}[z]$	Température de la zone du ballon préparateur solaire z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes		
Nom	Description	Unité
V_z	Volume de la zone z du ballon (z de 1 à 4, V_z est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
V_{z_sol}	Volume de la zone z du ballon échangeur (z de 1 à 4, V_{app} est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
$V_{ballon_zone_min}$	Volume minimum d'une zone du(des) ballons	L
V_{reg_base3}	Volume caractéristique pour la charge haute du ballon de base ECS PAC	L
V_{reg_base1}	Volume caractéristique pour la charge basse du ballon de base ECS PAC	L
$V_{reg_appoint}$	Volume caractéristique pour la régulation de l'appoint du ballon de base ECS PAC	L
U_z	Coefficient de pertes de la zone z du ballon hors pression	W/K
U_{z_sol}	Coefficient de pertes de la zone z du ballon d'appoint	W/K
Nb_{iter_ecs}	Nombre d'itérations maximales pour le calcul de la boucle de puisage ECS	-
f_{aux_equiv}	Fraction effective équivalente concernée par l'appoint pour le calcul du nombre d'itérations maximales pour le calcul de la boucle de puisage ECS	-
$Q_{w_sto_unit}(i)$	Besoins d'énergie requis en entrée du ballon au début de l'itération i	Wh
$V_p(h)$	Volume puisé dans le ballon de base ECS PAC au pas de temps h	L
$Pe[z](h)$	Pertes de la zone z du ballon de base	W

	ECS PAC	
$Pe[z]^{sol}(h)$	Pertes de la zone z du ballon préparateur solaire	W
$Apport[z]$	Apport de la zone z du ballon de base ECS PAC	W
$Apport^{sol}[z]$	Apport de la zone z du ballon préparateur solaire	W
$Apport_{appoint}[z]$	Apport de l'appoint à la zone z=3 du ballon de base ECS PAC	W

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
T_{decl_base}	Température de déclenchement du fonctionnement de la SOLAR PUMP	°C	55
T_{arret_base}	Température d'arrêt du fonctionnement de la SOLAR PUMP	°C	57
ρ_w	Masse volumique de l'eau	kg/L	1
c_w	Capacité calorifique massique de l'eau	Wh/(kg. K)	1,163

6/ Description mathématique du module

Cette partie établit pour le ballon:

- ses caractéristiques ;
- l'énergie puisée pour répondre aux besoins ECS 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.

3.1 INITIALISATION DES PARAMÈTRES INTRINSÈQUES

Certaines valeurs sont également fixées dans cette partie. C'est le cas des températures de déclenchement et d'arrêt pour la régulation :

$$T_{decl_base} = 57 \quad (27)$$

$$T_{arret_base} = 55 \quad (28)$$

Par contre pour l'appoint, la température de consigne du ballon « $\theta_{consigne_ballon}$ » ainsi que l'hystérésis « $\Delta_{consigne_ballon}$ » (utiles à la régulation) sont choisis par l'utilisateur.

Pour le ballon de base, le paramètre « f_{aux} » permet de déterminer le découpage du ballon suivant la position de l'appoint de la même façon que dans les règles Th-BCE.

$$V_3 = V_4 = \frac{f_{aux} V_{tot}}{2} \quad (29)$$

$$V_1 = V_2 = \frac{(1 - f_{aux}) \cdot V_{tot}}{2} \quad (30)$$

Dans le cas d'une version Solar Pump en solaire direct, 4 zones de même volume sont considérées pour le ballon préparateur solaire :

$$V_1^{sol} = V_2^{sol} = V_3^{sol} = V_4^{sol} = \frac{V_{tot}^{sol}}{4} \quad (31)$$

Il est alors possible de déterminer « $V_{ballon_zone_min}$ » le volume minimum d'une zone du (des) ballon(s) et ainsi de déduire le nombre maximale d'itérations lors d'un puisage.

Si $0 < f_{aux} < 1$

$$Nb_{iter_ecs} = Arr.inf \left(\frac{2}{\min(f_{aux}, (1 - f_{aux}))} \right) \quad (32)$$

Sinon

$$Nb_{iter_ecs} = 4 \quad (33)$$

Des paramètres liés à la régulation et restant fixes tout au long de la simulation sont également déterminés.

$$V_{reg_base_3} = V_3 + V_4 \quad (34)$$

$$V_{reg_base_1} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \quad (35)$$

Enfin, l'initialisation des paramètres intrinsèques au ballon se termine par la récupération du coefficient de perte du ballon UA définit conformément à la méthode Th-BCE :

$$UA = 0,16 \cdot V_{tot}^{0,5} \quad (36)$$

Le coefficient de pertes est ensuite affecter pour chaque zone au prorata du volume des zones du ballon

$$U_z = UA \cdot \frac{V_z}{V_{tot}} \quad (37)$$

3.2 PREMIÈRE ÉTAPE HORAIRE: BESOINS D'ECs AUX BORNES DU BALLON

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 :

$$Q_{req_ballon_ecs}(h) = \frac{Q_{req_ecs}(h)}{R_{dim}} \quad (38)$$

3.3 DEUXIÈME ÉTAPE HORAIRE : CALCUL DU VOLUME PUISÉ ET DES TEMPÉRATURES APRÈS PUISAGE

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

Volume puisé pour l'ECS

Pour la première itération ($i = 1$) :

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{req_ecs}(h) + Q_{w_sto_unit_report}(h-1) \quad (39)$$

Si la demande d'énergie ne peut être satisfaite, l'énergie à puiser sera reportée à l'itération suivante.

Les températures du ballon à la première itération correspondent aux températures du pas de temps précédent.

$$T_4(\text{itération} = 0) = T_4(h-1)$$

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

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_4(i-1) - \theta_{cw}(h))}; V_{ballon_zone_min}\right) \quad (40)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (T_4(i-1) - \theta_{cw}(h)) \quad (41)$$

Sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (42)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (43)$$

Dans le cas d'un **appoint en série du ballon**, on autorise le puisage dans le ballon même si la température de puisage est inférieure à la température de départ de 55°C. Les volumes puisés à chaque itération sont alors calculés avec une température de sortie à 55°C afin de permettre le puisage du ballon tant qu'il n'est pas à la température d'eau froide :

Si $T_4(i-1) > \theta_{cw}(h)$ alors

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (55 - \theta_{cw}(h))}; V_{ballon_zone_min}\right) \quad (44)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (55 - \theta_{cw}(h)) \quad (45)$$

Sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (46)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (47)$$

Le besoin à reporter à l'itération suivante est initialisé :

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{w_sto_unit_report}(i-1) \quad (48)$$

Un algorithme de mélange est alors appelé afin que la stratification des températures au sein du ballon soit respectée à chaque itération (cf paragraphe ci-dessous « Températures pendant puisage ECS »).

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

La boucle itérative sur le volume puisé dans le ballon 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 au pas de temps courant est noté de la manière suivante :

$$V_p(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter_ecs}} V_p(i) \quad (49)$$

De plus, après chaque puisage $V_p(i)$ il sera nécessaire de calculer les nouvelles températures au sein du ballon et d'éventuellement du ballon préparateur solaire (cas de la Solar Pump en version solaire direct).

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 nous obtenons la température dans le ballon après puisage ECS $T_{z_puis}(i)$:

$$T_{puis}[z] = \frac{T_z(i-1) \times (V_z - V_p(i)) + T_{z-1}(i-1) \times V_p(i)}{V_z} \quad (50)$$

Pour z allant de 1 à Nb_{z_ecs}

Si $z = 1$ (zone inférieure), nous remplacerons $T_{z-1}(i-1)$ par la température de l'eau entrant dans le ballon qui est de l'eau froide à $\theta_{cw}(h)$.

Dans le cas de la Solar Pump en version solaire direct, la température d'eau froide est remplacée par la température de puisage dans le préparateur solaire au pas de temps précédent.

Si le volume de puisage V_p calculé précédemment est inférieur au volume de la première zone du ballon solaire la température de cette zone est calculée par mélange entre l'eau froide et la température de la zone précédente. Si ce volume de puisage est supérieur à la première zone, la première zone est entièrement froide et ce sont les zones suivantes qui sont calculées par mélange. Un volume restant V_{p_rest} est alors identifié

Les températures au sein du préparateur solaire après puisage ECS $T_{z_puis}^{sol}(i)$ sont calculées dans un premier temps.

Pour les températures du ballon solaire affecté par le volume de puisage ou une partie de ce dernier ($V_p > V_z^{sol}$):

$$T_{puis}^{sol}[z] = \theta_{cw}(h) \quad (51)$$

Pour z allant de 1 jusqu'à z tel que $\sum V_z^{sol} < V_p$

$$V_{p_rest}(i) = V_p - V_z^{sol} \quad (52)$$

$$T_{puis}^{sol}[z] = \frac{T_z^{sol}(i-1) \times (V_z^{sol} - V_{p_rest}(i)) + \theta_{cw}(h) \times V_{p_rest}(i)}{V_z^{sol}} \quad (53)$$

Pour z la dernière zone tel que $V_{p_rest} > 0$

Pour les autres températures du ballon solaire :

$$T_{puis}^{sol}[z] = \frac{T_z^{sol}(i-1) \times (V_z^{sol} - V_{p_rest}(i)) + T_{z-1}^{sol}(i-1) \times V_{p_rest}(i)}{V_z^{sol}} \quad (54)$$

Pour z allant de 1 à Nb_{z_ecs}

Une fois ces températures calculées, on applique **l'algorithme de mélange des zones de la méthode Th-BCE 2012** sur le ballon est appliqué.

A la fin de cette étape, les températures du(des) ballon(s) de puisage sont obtenues :

$$T_{z_Nbiter_ecs}^{sol}(h) = T_{z_puis_ecs}^{sol}(Nb_{iter_ecs}) \quad (55)$$

$$T_{z_Nbiter_ecs}(h) = T_{z_puis_ecs}(Nb_{iter_ecs}) \quad (56)$$

Pour z variant de 1 à Nb_{z_ecs}

A la fin de cet algorithme la température du ballon est minorée par la température maximale pouvant être atteinte par ce dernier

3.4 TROISIÈME ÉTAPE HORAIRE : CALCUL DES PERTES

Les pertes du ballon à appliquer à chaque zone sont ensuite calculées :

$$Pe[z] = U_z \times [T_z(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (57)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Sont aussi calculées les pertes totales du ballon :

$$Pertes_{ballon}(h) = \sum_{z=1}^4 U_z \times [T_z(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (58)$$

Dans le cas de la présence du préparateur solaire, les pertes de chaque zone de ce dernier sont calculées :

$$Pe^{sol}[z] = U_z^{sol} \times [T_z^{sol}(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (59)$$

Pour z variant de 1 à 4.

De même sont calculées les pertes totales du ballon solaire :

$$Pertes^{sol}_{ballon}(h) = \sum_{z=1}^4 U_z^{sol} \times [T_z^{sol}(h-1) - \theta_{amb}(h)] \quad (60)$$

3.5 QUATRIÈME ÉTAPE HORAIRE : RÉGULATION EN VERSION PAC SEULE

Régulation de la charge haute du ballon (prioritaire)

En préambule, le fonctionnement de la Solar Pump n'est autorisé uniquement si la température extérieure est supérieure à -5 °C. « marche_base3 », qui caractérise cette autorisation de fonctionnement, est initialisé à 0. La régulation de la charge haute du ballon se fait vis-à-vis de la zone de base $z_{base}=3$ avec la température de base issue du calcul des températures après puisage (cf annexe 1).

$z_{base}=3$

$marche_{base3}(h) = 0$

Si $T_{ext} < -5$

$marche_{base3}(h) = 0$

Sinon

$$\text{Si } T_{z_base}(h) < T_{decl_base} + \frac{Pertes_{ballon}}{C_w \times \rho_w \times V_{tot}} \quad (61)$$

Si $V_p > 0$

$marche_{base3}(h) = 1$

Si $T_{z_base}(h) < T_{arret_base}$

$marche_{base3}(h) = 1$

Si $T_{decl_base} < T_{z_base}(h) < T_{arret_base}$ & $marche_{base3}(h-1) = 1$

$marche_{base3}(h) = 1$

Sinon

$marche_{base3}(h) = 0$

Sinon

$marche_{base3}(h) = 0$

L'algorithme est identique à celui de la régulation de la méthode Th-BCE. Une différentiation a été faite sur $marche_{base3}(h-1)$

Régulation de la charge basse du ballon

Une horloge interdisant le fonctionnement entre 7h et 10h est intégrée afin de limiter le fonctionnement de la charge basse et d'attendre l'obtention de températures amont plus chaudes. La régulation de la charge haute du ballon se fait vis-à-vis de la zone de base $z_{base}=1$ avec la température de base issue du calcul des températures après puisage (cf assemblage).

$z_{base}=1$

$marche_{base1}(h) = 0$

Si $T_{ext} < -5$

$marche_{base1}(h) = 0$

Sinon

Si $(heure_{legale} < 7 \text{ ou } heure_{legale} > 10)$

Si $T_{z_base}(h) < T_{decl_base} + \frac{Pertes_{ballon}}{C_w \times \rho_w \times V_{tot}}$ (62)

Si $T_{z_base}(h) < T_{arret_base}$

$marche_{base1}(h) = 1$

Si $T_{arret_base} < T_{z_base}(h) < T_{decl_base}$ & $marche_{base1}(h-1) = 1$

$marche_{base1}(h) = 1$

Sinon

$marche_{base1}(h) = 0$

Sinon

$marche_{base1}(h) = 0$

Sinon

$marche_{base1}(h) = 0$

3.6 CINQUIÈME ÉTAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS EN VERSION PAC SEULE
Si la régulation autorise la charge du ballon (charge hausse ou basse), il convient alors de calculer l'énergie qui sera apportée au ballon mais également l'énergie consommée par le système au pas de temps horaire.

La première étape nécessaire dans l'assemblage est ainsi la détermination de la puissance requise.

Calcul de la puissance de base requise

Si le fonctionnement de la base est autorisé, une température de base équivalente est calculée. Cette température permet de déduire la puissance de base requise. On différencie la puissance de base requise de la charge haute (« $P_{base_requis3}$ ») de la charge basse (« $P_{base_requis1}$ »).

Pour rappel,

$$V_{reg_base_3} = V_3 + V_4$$

$$V_{reg_base_1} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

$$T_{base_equiv3} = \sum_{z=3}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base_3}} \quad (63)$$

$$T_{base_equiv1} = \sum_{z=1}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base_1}} \quad (64)$$

$$P_{base_requis3} = \max \left[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base3} \times (T_{decl_base} - T_{base_equiv3}) + Pertes_{ballon} \frac{V_{reg_base3}}{V_{tot}}, 0 \right] \quad (65)$$

$$P_{base_requis1} = \max \left[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base1} \times (T_{decl_base} - T_{base_equiv1}) + Pertes_{ballon} \frac{V_{reg_base1}}{V_{tot}}, 0 \right] \quad (66)$$

Pour rappel, $T_{decl_base} = 57^\circ C$ pour toutes les versions de Solar Pump.

Calcul de la puissance fournie et des consommations

L'assemblage fait appel au « Module PAC » avec les températures amont et aval. Il est ainsi déduit une puissance que peut potentiellement fournir la PAC. La puissance réellement fournie est ensuite le minimum entre cette puissance potentielle et la puissance de base requise.

L'assemblage permet ainsi d'obtenir $P_{fournie3}$ et $P_{fournie1}$ [voir annexe 1]

La procédure « Apport_puissance » du « module ballon » permet ensuite de transformer ces puissances en apports au ballon :

$$Apport[z_{base3}] = P_{fournie3} \quad (67)$$

$$Apport[z_{base1}] = P_{fournie1} \quad (68)$$

Le « module PAC » fournissant également les COP de fonctionnement au pas de temps horaire, il est possible de déduire les puissances consommées (cf fiche algorithme assemblage). La consommation des auxiliaires sont alors déduites du taux de charge (cf fiche algorithme assemblage). Pour rappel, il est d'abord calculé $P_{fournie3}$ correspondant au chargement haut du ballon de base ECS PAC. $P_{fournie1}$ est calculé en fonction de ce que la PAC peut encore fournir après.

3.7 SIXIÈME ÉTAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS EN VERSION SOLAIRE DIRECT

En version solaire direct, le « module solaire » est appelé pour l'autorisation du fonctionnement en mode solaire direct. Le « module solaire » est de même appelé pour déterminer la puissance solaire à fournir au préparateur solaire.

L'assemblage permet ainsi d'obtenir $P_{fournie_solaire}$.

La procédure « Apport_puissance » du « module ballon » permet ensuite de transformer ces puissances en apports au ballon :

$$Apport^{sol}[z_{sol1}] = P_{fournie_solaire} \quad (69)$$

3.8 SEPTIÈME ÉTAPE HORAIRE : CALCUL DES TEMPÉRATURES APRÈS APPORTS ET PERTES

Une fois les pertes (3^{ème} étape) et les apports de la Solar Pump (5^{ème} et 6^{ème} étapes) calculés, l'assemblage demande au module ballon le calcul des températures via la procédure « Calcul_T_ballon_i » :

Dans le cas d'un Solar Pump en version solaire direct, les températures du préparateur solaire sont calculées

$$T^{sol}[z] = T_{puis}^{sol}[z] + \frac{Apport^{sol}[z] - Pe^{sol}[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z^{sol}} \quad (70)$$

Pour z variant de 1 à 4.

$$T[z] = T_{puis}[z] + \frac{Apport[z] - Pe[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z} \quad (71)$$

Pour z variant de 1 à 4.

Pour ces deux champs de température, l'algorithme de mélange est appelé afin de respecter la stratification au sein des 2 ballons.

3.9 HUITIÈME ÉTAPE HORAIRE : RÉGULATION DE L'APPOINT

Une fois les températures du ballon de base calculées après pertes et apports de la Solar Pump, il est déterminé si l'appoint est nécessaire pour respecter la température de consigne

« $\theta_{\text{consigne_ballon}}$ ». L'appoint de la Solar Pump est fixé permanent.

$$Z_{\text{appoint}} = 3$$

$$\text{Si } T_{z_{\text{appoint}}}(h) < \theta_{\text{consigne_ballon}} \quad (72)$$

$$\text{Si } T_{z_{\text{appoint}}}(h) < \theta_{\text{consigne_ballon}} - \Delta_{\text{consigne_ballon}} \\ \text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 1$$

$$\text{Si } \theta_{\text{consigne_ballon}} - \Delta_{\text{consigne_ballon}} < T_{z_{\text{appoint}}}(h) < \theta_{\text{consigne_ballon}} \ \& \ \text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 1 \\ \text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 1$$

$$\text{Sinon} \\ \text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 0$$

Sinon

$$\text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 0$$

3.10 NEUVIÈME ÉTAPE HORAIRE : APPORT DE L'APPOINT ET CALCUL DES TEMPÉRATURES FINALES

Après avoir identifié ou non la nécessité d'un recours à l'appoint (huitième étape), l'assemblage demande au « Module Ballon » la puissance requise d'appoint.

$$\text{Si } \text{marche}_{\text{appoint}}(h) = 1$$

$$T_{\text{appoint_equiv}} = \sum_{z=3}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{\text{reg_appoint}}} \quad (73)$$

$$P_{\text{appoint_requis}} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{\text{reg_appoint}} \times (\theta_{\text{consigne_ballon}} - T_{\text{appoint_equiv}}), 0] \quad (74)$$

$\theta_{\text{consigne_ballon}}$ correspond à la température de consigne du ballon par le fonctionnement de l'appoint. La puissance d'appoint requise est donc calculée par rapport à cette température et non la température où la régulation se met en marche : $\theta_{\text{consigne_ballon}} - \Delta_{\text{consigne_ballon}}$ (cf huitième étape horaire).

Cette puissance d'appoint $P_{\text{appoint_requis}}$ est ensuite envoyée par l'assemblage au générateur d'appoint saisi par l'utilisateur

$$Q_{\text{req_sto_app}} = P_{\text{appoint_requis}} \quad (75)$$

L'assemblage retourne après appel à la méthode Th-BCE l'énergie réellement fournie par l'appoint $Q_{fou_gen_ECS}$

Cette puissance est alors appliquée à la procédure « Calcul_temp_fin » qui calcule les températures à la fin du pas de temps h :

$$Apport_{appoint} [z_{appoint} = 3] = Q_{fou_gen_ECS} \quad (76)$$

Les températures finales sont alors calculées :

$$T [z] = T [z] + \frac{Apport_{appoint} [z]}{C_w \times \rho_w \times V_z} \quad (77)$$

Pour z variant de 1 à 4.

L'algorithme de mélange est encore appelé une dernière fois pour respecter la stratification au sein du ballon.

ANNEXE 3

FICHE ALGORITHME – MODULE PAC

Introduction

La modélisation de la PAC décrite dans cette fiche fixe lors de l'initialisation les coefficients de performances et les puissances absorbées aux différents points de fonctionnement en fonction du type de PAC choisi par l'utilisateur. Une procédure d'interpolation permet alors de fixer les performances au pas de temps horaire en fonction des températures amont et aval horaires.

Nomenclature du module PAC

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

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
T _{amont} (h)	Température de la source amont	°C
T _{aval} (h)	Température de la source aval (ballon)	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
Type_PAC	Les valeurs de Performances {valCOP(Icol,Ilign)} et de puissance absorbées {valPabs(Icol,Ilign)} sont initialisées selon le type de PAC : 1 : PAC 10kW, 2 : PAC 15kW, 3 : PAC 23kW, 4 : PAC 2x10kW, 5 : PAC 2x15kW, 6 : PAC 2x23kW	-	[1 ; 6]	-
{valCOP(Icol,Ilign)}	Matrice de performances en mode ECS selon les températures amont et aval	-	-	-
{valPabs(Icol,Ilign)}	Matrice des puissances absorbées en mode ECS selon les températures amont et aval	kW	-	-
{valECS(Icol,Ilign)}	Matrice de performances en mode ECS selon les températures amont et aval	-	-	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
P _{fou_pc}	Energie pouvant être fournie par le générateur au pas de temps h	Wh
COP _{pc}	Coefficient de performance effectif au pas de temps horaire	-

Variables internes		
Nom	Description	Unité
C _{av}	Coefficient d'interpolation en fonction de la température aval	-
C _{am}	Coefficient d'interpolation en fonction de la température amont	-

Description mathématique du module

Cette partie établit :

- l'initialisation des paramètres de la PAC en fonction du choix de l'utilisateur
- le calcul d'interpolation pour déterminer les performances horaires

3.11 INITIALISATION DES PARAMÈTRES

La procédure d'initialisation récupère les paramètres de l'assemblage et fixe les COP et les puissances absorbées selon les valeurs des essais des PAC dédiées à la Solar Pump : 10kW, 15kW, 23kW, 2x10kW, 2x15kW, 2x23kW.

Selon le modèle sélectionné (Type_PAC) les valeurs de performances {valCOP(Icol,Ilig)} et de puissances absorbées {valPabs(Icol,Ilig)} sont initialisées selon les tableaux ci-dessous. Ces valeurs sont renseignées en tant que valeurs justifiées.

COP :

SOLAR PUMP® 10 kW, et 2x10 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		3,93	5,06	5,56	6,93	7,97
27,5	22,5	25		3,31	4,10	4,72	5,73	7,12
35	30	32,5		3,13	3,61	4,07	5,09	6,14
42,5	37,5	40		2,77	3,11	3,58	4,27	5,18
50	45	47,5		2,40	2,74	2,85	3,77	4,59
57,5	52,5	55		2,18	2,47	2,68	3,25	3,65
65	60	62,5		1,81	2,14	2,06	2,66	3,26

SOLAR PUMP® 15 kW, et 2x15 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		4,28	5,05	5,46	6,41	6,81
27,5	22,5	25		3,60	4,09	4,64	5,51	6,12
35	30	32,5		3,17	3,61	4,01	4,65	5,12
42,5	37,5	40		2,82	3,13	3,45	4,00	4,38
50	45	47,5		2,67	2,99	3,11	3,48	3,96
57,5	52,5	55		2,10	2,42	2,60	2,93	3,21
65	60	62,5		1,21	2,02	2,31	2,50	2,81

SOLAR PUMP® 23 kW, et 2x23 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		4,40	5,18	5,61	6,57	6,96
27,5	22,5	25		3,70	4,20	4,77	5,43	6,19
35	30	32,5		3,31	3,70	4,11	4,83	5,34
42,5	37,5	40		2,88	3,19	3,52	4,05	4,50
50	45	47,5		2,51	2,81	2,92	3,48	3,99
57,5	52,5	55		2,19	2,53	2,72	3,07	3,46
65	60	62,5		1,22	2,10	2,39	2,67	2,97

Puissances absorbées :

SOLAR PUMP® 10 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		1,39 kW	1,18 kW	1,34 kW	1,39 kW	1,58 kW
27,5	22,5	25		1,69 kW	1,46 kW	1,61 kW	1,73 kW	1,89 kW
35	30	32,5		1,77 kW	1,70 kW	1,90 kW	2,02 kW	2,31 kW
42,5	37,5	40		2,04 kW	1,95 kW	2,17 kW	2,38 kW	2,68 kW
50	45	47,5		2,27 kW	2,23 kW	2,57 kW	2,64 kW	3,06 kW
57,5	52,5	55		2,49 kW	2,58 kW	2,74 kW	3,08 kW	3,37 kW
65	60	62,5		2,89 kW	2,93 kW	3,18 kW	3,63 kW	3,71 kW

SOLAR PUMP® 15 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		2,18 kW	2,12 kW	2,21 kW	2,25 kW	2,40 kW
27,5	22,5	25		2,63 kW	2,62 kW	2,66 kW	2,70 kW	2,71 kW
35	30	32,5		2,95 kW	2,90 kW	2,99 kW	3,16 kW	3,28 kW
42,5	37,5	40		3,31 kW	3,41 kW	3,53 kW	3,77 kW	3,72 kW
50	45	47,5		3,67 kW	3,78 kW	3,97 kW	4,21 kW	4,26 kW
57,5	52,5	55		4,41 kW	4,52 kW	4,82 kW	5,17 kW	5,24 kW
65	60	62,5		5,44 kW	5,39 kW	5,60 kW	6,11 kW	5,66 kW

SOLAR PUMP® 23 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		3,06 kW	2,98 kW	3,11 kW	3,19 kW	3,18 kW
27,5	22,5	25		3,70 kW	3,68 kW	3,74 kW	3,95 kW	4,00 kW
35	30	32,5		4,08 kW	4,28 kW	4,42 kW	4,62 kW	4,89 kW
42,5	37,5	40		4,77 kW	4,91 kW	5,09 kW	5,45 kW	5,68 kW
50	45	47,5		5,46 kW	5,62 kW	5,91 kW	6,38 kW	6,49 kW
57,5	52,5	55		6,33 kW	6,49 kW	6,92 kW	7,34 kW	7,44 kW
65	60	62,5		7,60 kW	7,81 kW	7,82 kW	8,46 kW	8,73 kW

SOLAR PUMP® 2x10 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval	-					
17,5	12,5	15		2,79 kW	2,37 kW	2,67 kW	2,79 kW	3,17 kW
27,5	22,5	25		3,37 kW	2,93 kW	3,22 kW	3,45 kW	3,78 kW
35	30	32,5		3,54 kW	3,40 kW	3,80 kW	4,04 kW	4,62 kW
42,5	37,5	40		4,08 kW	3,90 kW	4,33 kW	4,76 kW	5,36 kW
50	45	47,5		4,54 kW	4,47 kW	5,14 kW	5,29 kW	6,13 kW
57,5	52,5	55		4,98 kW	5,16 kW	5,48 kW	6,16 kW	6,74 kW
65	60	62,5		5,78 kW	5,87 kW	6,36 kW	7,27 kW	7,41 kW

SOLAR PUMP® 2x15 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval						
17,5	12,5	15		4,35 kW	4,24 kW	4,42 kW	4,50 kW	4,80 kW
27,5	22,5	25		5,26 kW	5,23 kW	5,32 kW	5,40 kW	5,42 kW
35	30	32,5		5,89 kW	5,79 kW	5,98 kW	6,32 kW	6,56 kW
42,5	37,5	40		6,62 kW	6,81 kW	7,06 kW	7,54 kW	7,45 kW
50	45	47,5		7,34 kW	7,55 kW	7,94 kW	8,43 kW	8,52 kW
57,5	52,5	55		8,82 kW	9,04 kW	9,64 kW	10,34 kW	10,48 kW
65	60	62,5		10,88 kW	10,78 kW	11,20 kW	12,22 kW	11,32 kW

SOLAR PUMP® 2x23 kW								
			Tamont (eau glycolée)					
			Tretour	-10	-5	1,5	10	20
			Tdépart	-13	-8	-1,5	7	17
Taval (eau)			Tam >	-11,5	-6,5	0	8,5	18,5
Tdépart	Tretour	Taval						
17,5	12,5	15		6,12 kW	5,96 kW	6,22 kW	6,38 kW	6,36 kW
27,5	22,5	25		7,40 kW	7,36 kW	7,48 kW	7,90 kW	8,00 kW
35	30	32,5		8,16 kW	8,56 kW	8,84 kW	9,24 kW	9,78 kW
42,5	37,5	40		9,54 kW	9,82 kW	10,18 kW	10,90 kW	11,36 kW
50	45	47,5		10,92 kW	11,24 kW	11,82 kW	12,76 kW	12,98 kW
57,5	52,5	55		12,66 kW	12,98 kW	13,84 kW	14,68 kW	14,88 kW
65	60	62,5		15,20 kW	15,61 kW	15,64 kW	16,92 kW	17,45 kW

3.12 DÉTERMINATION DES PERFORMANCES HORAIRES

L'assemblage a dans un premier temps calculé les températures amont et aval de la PAC (cf. Annexe 1). Les algorithmes d'interpolation sont ceux du paragraphe 10.21.3.3.1.1.3 de la méthode Th-BCE.

Une correction de la consommation de la Solar Pump en charge partielle est ensuite réalisée pour prendre en compte :

- La consommation du compresseur lors de la phase de fonctionnement établi P_{comp}
- La consommation équivalente du compresseur résultant des irréversibilités lors des phases d'arrêt-démarrage, P_{compma}
- La consommation des auxiliaires P_{aux}

Les compresseurs sont à régulation de puissance tout ou rien.

Les données d'entrée correspondantes à ce type de fonctionnement sont :

- $Deq_{conventionnel} = 0,5$
- $LR_{contmin} = 1$
- $Taux = 0,02$
- $Dfou0 = 26$ minutes car fonctionnement en ECS

Le calcul se déroule alors en plusieurs étapes conformément au paragraphe 10.21.3.6.1.1 de la méthode Th-BCE

ANNEXE 4

FICHE ALGORITHME – BOUCLE SOLAIRE

1. Introduction

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

Le modèle de la boucle solaire est assimilé à celui d'un générateur. La boucle solaire fait partie du codage de « **Production Stockage** ».

2. Nomenclature du module interne boucle solaire

Entrées du module		
Nom	Description	Unité
T _{sortie_HX_PAC} (h-1)	Température de sortie échangeur côté évaporateur de la PAC au pas de temps horaire	°C
T _{échangeur} (h)	Température vu par l'échangeur solaire au pas de temps horaire	°C
marche_sol(h-1)	Indicateur de régulation de la boucle solaire au pas de temps précédent	-
Isr*(h)	Ensoleillement sur le plan des capteurs	W/m ²
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	°
Text(h)	Température extérieure	°C

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]	-
T _{échangeur}	Température de l'échangeur externe au ballon de préchauffage solaire	°C	[0 ; +∞[-
S _{capteur}	Surface de capteurs solaires	m ²	[0 ; +∞[-
K _θ	Facteur d'angle d'incidence	-	[0 ; 1]	-
η ₀	Rendement optique du capteur	-	[0 ; 1]	-
bu	Coefficient de dépendance au vent du facteur optique	s/m	[0 ; +∞[-
b1	Coefficient de pertes du premier ordre	W/(m ² .K)	[0 ; +∞[-
b2	Coefficient de dépendance au vent du coefficient de pertes	W.s/(m ³ .K ²)	[0 ; +∞[-
Ue	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	W/K	[0 ; +∞[-

U_i	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	W/K	$[0 ; +\infty[$	-
deb_{sol}	Débit nominal passant dans les capteurs lors du fonctionnement en version PAC seule	L/h	$]0 ; +\infty[$	-
$debit_{solaire_direct}$	Débit nominal passant dans les capteurs lors du fonctionnement en version solaire direct	L/h	$]0 ; +\infty[$	-
P_{P_sol}	Puissance électrique nominale de la pompe solaire en version PAC seule	W	$[0 ; +\infty[$	-
$P_{P_solaire_direct}$	Puissance électrique nominale de la pompe solaire en version solaire direct	W	$[0 ; +\infty[$	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
$W_{aux_boucle_solaire}(h)$	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
$\Phi_{vc_BS}(h)$	Pertes thermiques vers l'ambiance de la boucle solaire	W
$T_{boucle}(h)$	Température d'équilibre de la boucle solaire	°C
$Q_{sol_int}(h)$	Puissance pouvant être apportée par la boucle	W
$T_{entrée_HX_PAC}(h)$	Température d'entrée dans l'échangeur PAC côté évaporateur. Cette sortie correspond à la température de source amont du module PAC	°C
$T_{sortie_HX_PAC}(h)$	Température de sortie de l'échangeur PAC côté évaporateur.	°C
$P_{recupérée_PAC}$	Puissance récupérée par la PAC côté évaporateur	W

Variables internes		
Nom	Description	Unité
$angle_incidence(h)$	Angle d'incidence	rad
$K_incidence(h)$	Facteur d'angle d'incidence	-
U_c	Coefficient de pertes vers l'extérieur de la boucle de captage (capteurs et tuyauterie)	W/(m ² .K)
$T_{entrée_capteur}(h)$	Température d'entrée dans les capteurs solaires dans le cas d'une utilisation en solaire direct	°C
$\Delta\theta_{CE}$	Ecart de température minimum entre la sortie capteur et la sortie échangeur	°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
T_{amb_sol}	Température de l'ambiance intérieure en contact avec la boucle solaire	°C	19
α_p	Part de la puissance de la pompe transférée au fluide sous forme de chaleur	-	0,5
$\Delta\theta_{reg}$	Ecart de température minimum entre la sortie capteur et la sortie échangeur – valeur de réglage de régulation	°C	3

3. Description mathématique du module

La modélisation de la boucle solaire est identique à la méthode Th-BCE pour le solaire direct. En version PAC seule, la modélisation est adaptée pour prendre en compte des pertes vers la voûte céleste, du vent et des temps de fonctionnement. La température moyenne dans le capteur est égale à la température moyenne dans l'échangeur. Cette hypothèse suppose que la boucle est bien isolée et exclut les faibles débits.

Le modèle de boucle solaire détermine l'énergie solaire injectée dans le ballon (préparateur solaire dans le cas du solaire direct possible) sur une heure et détermine la température de boucle, la température de source amont de la PAC (pour la charge du ballon de base ECS PAC).

3.13 INITIALISATION DES VALEURS

En fonction du choix de la surface de capteurs, le coefficient d'échangeur solaire est calculé selon le tableau suivant:

Surface de capteur	Coefficient d'échange	Surface d'échange de l'échangeur
0 à 36 m ² de Polytub	3500 W/m ² .K	1,33 m ²
37 à 60 m ² de Polytub		2,03 m ²
61 à 72 m ² de Polytub		2,38 m ²
73 à 84 m ² de Polytub		3,42 m ²
85 à 144 m ² de Polytub		4,01 m ²

De même, la surface de capteurs conditionne le débit et la consommation électrique associée :

Surface de capteur	Pompe	Débit*	Consommation élec**
0 à 36 m ² de Polytub	Captage Solaire Direct	50 Litres/(h.m ²)	151 W
	ECS Solaire Direct	47 Litres/(h.m ²)	105 W
37 à 60 m ² de Polytub	Captage Solaire Direct	50 Litres/(h.m ²)	151 W
	ECS Solaire Direct	47 Litres/(h.m ²)	114 W
61 à 72 m ² de Polytub	Captage Solaire Direct	50 Litres/(h.m ²)	151 W
	ECS Solaire Direct	47 Litres/(h.m ²)	165 W
73 à 84 m ² de Polytub	Captage Solaire Direct	50 Litres/(h.m ²)	446 W
	ECS Solaire Direct	47 Litres/(h.m ²)	446 W
85 à 144 m ² de Polytub	Captage Solaire Direct	50 Litres/(h.m ²)	521 W
	ECS Solaire Direct	47 Litres/(h.m ²)	521 W

Enfin, le choix du type de Solar Pump (10kW, 15kW, 23kW, 2x10kW, 2x15kW, 2x23kW) conditionne les valeurs des pompes de la PAC selon le tableau suivant :

SOLAR PUMP® 10 kW

Pompe	Débit ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	2,6 m ³ /h	140 W
ECS	3,1 m ³ /h	140 W

SOLAR PUMP® 15 kW

Pompe	Débit ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	3,0 m ³ /h	310 W
ECS	3,5 m ³ /h	446 W

SOLAR PUMP® 23 kW

Pompe	Débit ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	4,1 m ³ /h	310 W
ECS	3,9 m ³ /h	446 W

SOLAR PUMP® 2x10 kW

Pompe	Débit par PAC ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	2,6 m ³ /h	280 W
ECS	3,1 m ³ /h	280 W

SOLAR PUMP® 2x15 kW

Pompe	Débit par PAC ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	3,0 m ³ /h	620 W
ECS	3,5 m ³ /h	892 W

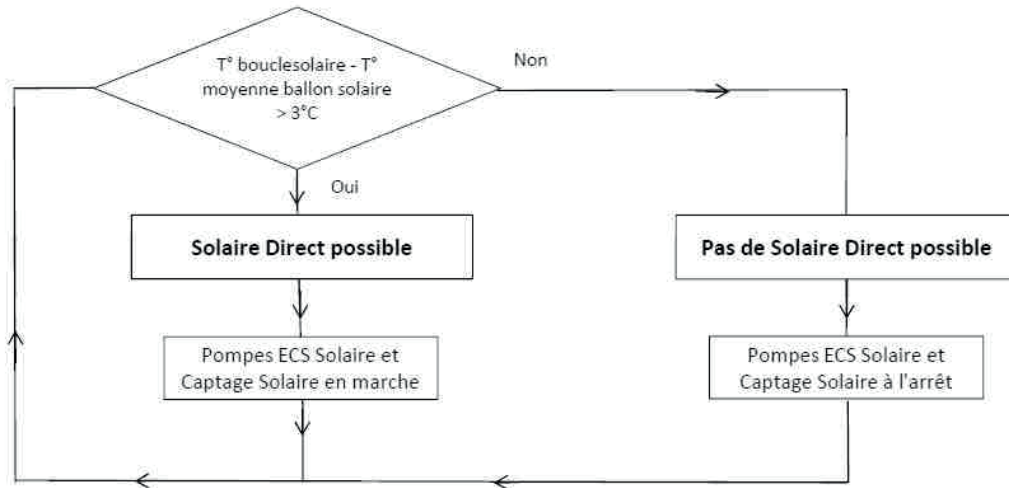
SOLAR PUMP® 2x23 kW

Pompe	Débit par PAC ⁺	Consommation élec ^{**}
Captage	4,1 m ³ /h	620 W
ECS	3,9 m ³ /h	892 W

**Les valeurs de débits sont les valeurs de débits nominaux et sont supposés constants*

***Les valeurs de consommations électriques sont les valeurs maximales et sont supposées constantes*

3.14 RÉGULATION DU FONCTIONNEMENT DE LA BOUCLE SOLAIRE EN MODE SOLAIRE DIRECT
La logique de fonctionnement est décrite dans le logigramme suivant et correspond à la logique de régulation de la boucle solaire de la méthode Th-BCE :



Pour rappel la charge de la zone haute du ballon PAC est prioritaire sur le solaire direct. Ainsi, la puissance puisée pour la source amont de la PAC est retranché à la puissance fournie par le solaire direct.

De même, si aucune puissance n'est fournie en solaire direct (différentiel inférieur à 3 °C), la charge de la partie basse du ballon PAC reste envisageable.

3.15 CALCUL DE LA TEMPÉRATURE DE BOUCLE ET DE L'ÉNERGIE SOLAIRE EN MODE SOLAIRE DIRECT

En mode solaire direct, la température de boucle permet le calcul de l'énergie solaire intermédiaire Q_{sol}^{int} à injecter au ballon. Le fonctionnement en solaire direct correspond à « Calcul_boucle_solaire1 » dans le code « Boucle_solaire.ecs » de Production Stockage où la sortie essentielle est le calcul de Q_{sol}^{int}

Température de boucle et énergie solaire intermédiaire

Le calcul de la température de boucle se base sur les équations suivantes :

$$U_c = a_1 + a_2(T_{boucle} - T_{ext}(h)) + \frac{UA_{te}}{A} \quad (78)$$

Où la température moyenne T_{boucle} se déduit de l'équation de l'équilibre de la boucle et avec $a_2 = 0$

$$\eta_0 \cdot A \cdot I_{sr} \cdot K_{\theta} - AU_c \cdot (T_{boucle} - T_{ext}(h)) - UA_{ti}(T_{boucle} - T_{amb}(h)) + \alpha_p \cdot P_{P_solaire_direct} = Q_{sol}^{int} \quad (79)$$

Et Q_{sol}^{int} est relié à T_{boucle} par :

$$Q_{sol}^{int} = UA_{hx}(T_{boucle} - T_{echangeur}) \quad (80)$$

Ces trois équations sont combinées en une seule équation du second degré en T_{boucle} :

$$a_2 T_{boucle}^2 + \left[a_1 + \frac{UA_{te} + UA_{ti} + UA_{hx}}{A} - 2a_2 T_{ext} \right] \cdot T_{boucle} + a_2 T_{ext}^2 - a_1 T_{ext} - \eta_0 I_{sr} \cdot K_{\theta} - \frac{\alpha_p \cdot P_{nP} + (UA_{te} T_{ext} + UA_{ti} T_{amb} + UA_{hx} T_{echangeur})}{A} = 0 \quad (81)$$

La température d'échangeur est considérée comme la température moyenne vue par l'échangeur.

Une fois la température de boucle T_{boucle} calculée par cette équation, on déduit Q_{sol}^{int} par l'équation (3).

Gestion/régulation de la boucle solaire

Une fois les températures déterminées, on applique les conditions de gestion/régulation de la boucle solaire. L'écart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur est calculé pour conditionner ou non le fonctionnement de la boucle :

$$\Delta\theta_{CE} = \frac{2Q_{sol}^{int} + UA_{te}(T_{boucle} - T_{amb}(h)) + UA_{ti}(T_{boucle} - T_{amb}(h)) - \alpha_p \cdot P_{nP}}{2 \cdot debit_{solaire_direct} \cdot C_p} \quad (82)$$

Si $\Delta\theta_{CE} < \Delta\theta_{reg}$

$$\begin{aligned} W_{aux_boucle_solaire}(h) &= 0 \\ Q_{sol} &= 0 \end{aligned} \quad (83)$$

Sinon

$$\begin{aligned} W_{aux_boucle_solaire}(h) &= P_{nP} \\ Q_{sol} &= Q_{sol}^{int} \end{aligned} \quad (84)$$

Avec : $\Delta\theta_{reg} = 3$

Pertes de la boucle solaire

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

$$\phi_{vc}^{BS}(h) = \max(UA_{ti}(T_{boucle} - T_{amb}), 0) \quad (85)$$

3.16 CALCUL DE LA TEMPÉRATURE DE BOUCLE EN MODE PAC SEULE

En partant de la température de sortie d'échangeur de PAC $T_{sortie_HX_PAC}$ ($T_{sortie_HX_PAC}$ est considérée comme la température de sortie de l'échangeur PAC côté évaporateur à l'utilisation précédente (cf. Annexe 1 : température de la dernière utilisation de la boucle au pas de temps précédent ou au pas de temps courant)), il est calculé la température d'entrée dans les capteurs solaires $T_{entrée_capteur}$ en appliquant la moitié des pertes de réseaux (l'autre moitié des pertes réseaux est appliquée entre la sortie capteurs et l'entrée échangeur PAC).

$$T_{entrée_capteur}(h) = B \times T_{sortie_HX_PAC}(h-1) + C \quad (86)$$

Avec

$$B = \frac{-\frac{U_e}{2} - \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}}{\frac{U_e}{2} + \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (87)$$

$$C = \frac{2 \times \left(\alpha_p \times P_{p_solaire}(h) + \frac{U_e}{2} \times T_{ext}(h) + \frac{U_i}{2} \times T_{amb_sol} \right)}{\frac{U_e}{2} + \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (88)$$

Le réseau qui n'est pas en contact avec l'extérieur est considéré en contact avec une ambiance à 19 °C ($T_{amb_sol} = 19 \text{ °C}$).

La température $T_{sortie_capteur}$ est calculée à partir de l'équation suivante :

$$\begin{aligned} & Q_{er} \times S_{capteur} + \eta_0 (1 - bu \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times Isr^* \times K_{\theta} \\ & - (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times \left(\frac{T_{entrée_capteur}(h) + T_{sortie_capteur}(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) \\ & = deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol} \times (T_{sortie_capteur}(h) - T_{entrée_capteur}(h)) \end{aligned} \quad (89)$$

$T_{sortie_capteur}(h) =$

$$\frac{Q_{rt} \times S_{capteur} + \eta_0 \times (1 - bu \times v_{vent}) \times Isr^* \times K_{\theta} \times S_{capteur} + (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times T_{ext}(h) + T_{entrée_capteur}(h) \times \left(deb_{sol}(h) \times C_{glycol} - \frac{1}{2} (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \right)}{deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol} + \frac{1}{2} \times S_{capteur}} \quad (90)$$

Avec Q_{er} le rayonnement froid vers la voute céleste calculé selon les règles Th-BCE :

$$Q_{er}^* = h_{re} \cdot (T_{ciel} - T_e) \cdot \max(\cos(\beta), 0) \quad (91)$$

Avec $h_{re} = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La température d'entrée PAC est alors calculée en prenant en compte l'autre moitié des pertes réseaux :

$$T_{entrée_HX_PAC}(h) = B \times T_{sortie_capteur}(h) + C \quad (92)$$

Le calcul de cette température d'entrée PAC est alors utile pour le « Module PAC » en tant que température de source amont.

3.17 CALCUL DE LA TEMPÉRATURE DE SORTIE ÉCHANGEUR DE PAC

La température de sortie échangeur PAC est calculée en fonction de la température d'entrée échangeur et de la puissance récupérée.

$$T_{sortie_HX_PAC}(h) = T_{entrée_HX_PAC}(h) - \frac{P_{récupérée_PAC}}{deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (93)$$

Avec

$$P_{récupérée_PAC} = P_{fournie_PAC} \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (94)$$