

ANNEXE

Modalités de prise en compte du système Li-Mithra de PAC fonctionnant sur de l'eau glycolé en sous face de capteurs photovoltaïques dans la réglementation thermique 2012

1. Définition du système

Le système Li-Mithra de PAC fonctionnant sur de l'eau glycolé en sous face de capteurs photovoltaïques est destinée à la production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS) et/ou de l'eau chauffage via une PAC fonctionnant sur de l'eau glycolé en sous face de capteurs. Le principe est le couplage de deux techniques : la Pompe à Chaleur de type Eau glycolée/Eau (PAC) et un capteur solaire hybride ou capteur PVT.

Selon les installations, la PAC pourra être destinée uniquement au chauffage ou à l'ECS ou bien fonctionner en double service. Dans le cas d'un fonctionnement double service, la priorité sera donnée à l'ECS avec un chargement du ballon ECS avant le ballon tampon chauffage.

Dans le cas où une possibilité de revente est prévue par l'installateur, la production excédentaire sera alors revendue au réseau.

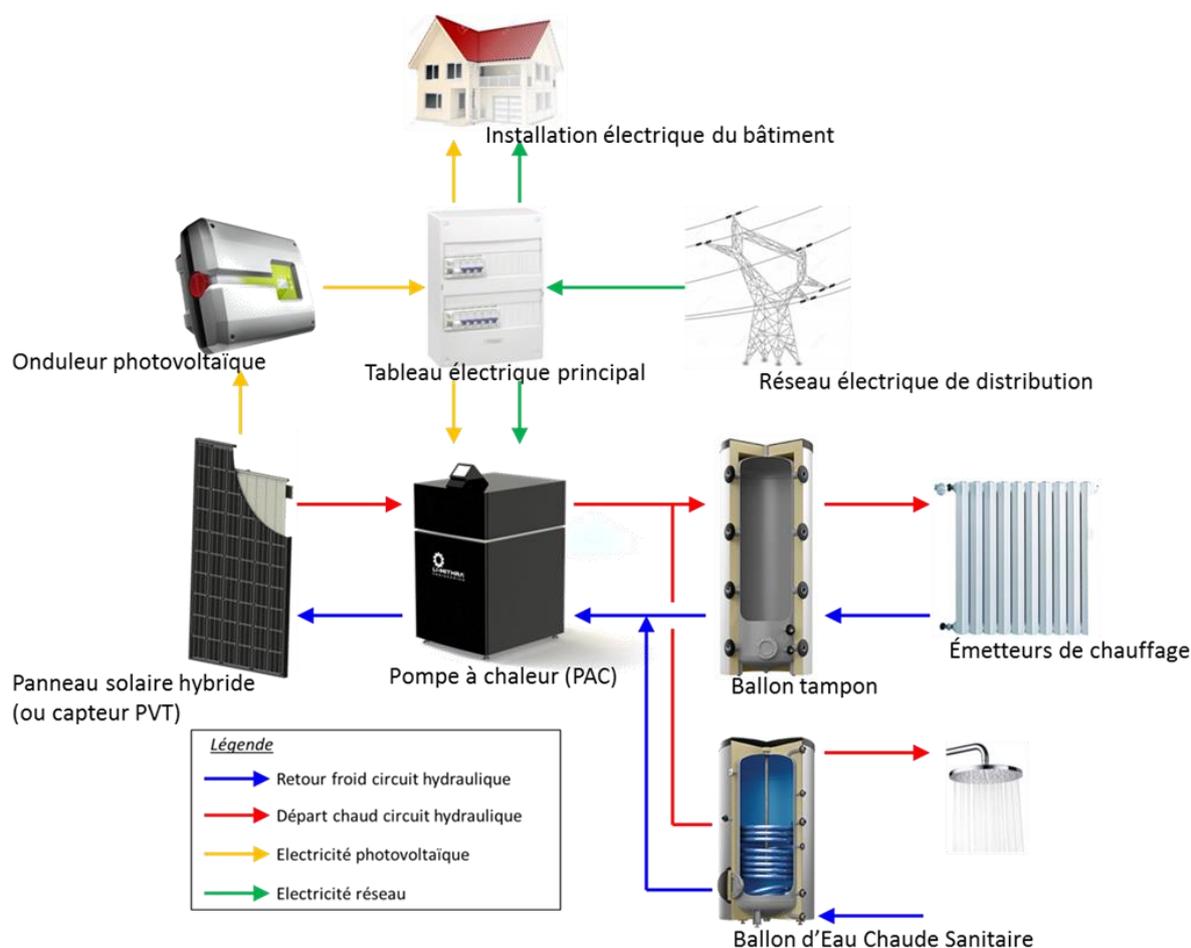


Figure 1 : Schéma de principe du système

Le système est composé :

- D'un champs de capteur hybride correspondant à la source amont de la pompe à chaleur.
- D'une pompe à chaleur permettant de répondre aux besoins de chauffage et/ou d'ECS.
- D'un ou deux ballons de stockage en fonction des services du système ECS et/ou chauffage.
- D'une régulation permettant le fonctionnement de la pompe à chaleur en fonction de la production PV

Tous les générateurs d'appoint de type combustion peuvent être considérés. Les générateurs thermodynamiques et poêle bois sont donc exclus des appoints disponibles pour le titre V. Si l'appoint est électrique, il sera uniquement au sein des ballons de stockage pour les maintenir en température. Dans le cas d'un appoint hydraulique, ils seront alors en série ou en parallèle des ballons de stockage.

Le nombre de panneaux solaires hybrides (PVT) minimal et maximal que pourra composer le système selon le modèle de PAC est résumé dans le tableau suivant :

Modèle de PAC	Nombre minimal de PVT / Surface minimale de PVT	Nombre maximal de PVT / Surface minimale de PVT
LM1-06M	4 unités / 6,7 m ²	9 unités / 15,0 m ²
LM1-08M	6 unités / 10,0 m ²	12 unités / 20,0 m ²
LM2-10M	6 unités / 10,0 m ²	12 unités / 20,0 m ²
LM2-20T	12 unités / 20,0 m ²	24 unités / 39,99 m ²

Le système se décline en version ECS, chauffage ou double service où le capteur est utilisé uniquement en tant que source amont de la PAC. La température de retour est alors limitée à 25°C (mitigeage).

Lorsque le capteur est utilisé en source amont de la PAC, s'il y a de l'ensoleillement, cette énergie récupérée auprès du panneau hybride est valorisée en totalité dans le groupe thermodynamique. La part renouvelable de l'énergie fournie à l'ECS et/ou au ballon tampon par la PAC est alors uniquement dû à la récupération d'énergie des capteurs hybrides.

Le système est composé d'une régulation permettant le fonctionnement de la pompe à chaleur en fonction de la production PV.

Schéma de principe Hydraulique « Fonctionnement ECS » :

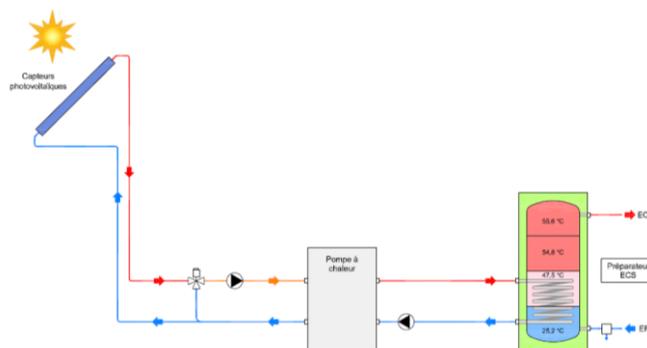


Figure 2 : Li-Mithra fonctionnement ECS uniquement

Schéma de principe Hydraulique« Fonctionnement chauffage » :

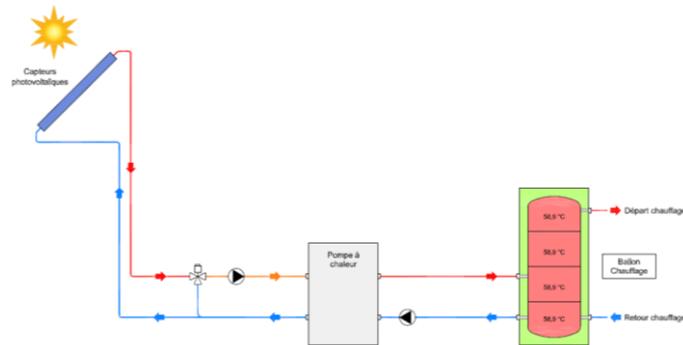


Figure 3 : Li-Mithra fonctionnement Chauffage uniquement

Schéma de principe Hydraulique« Fonctionnement double service » :

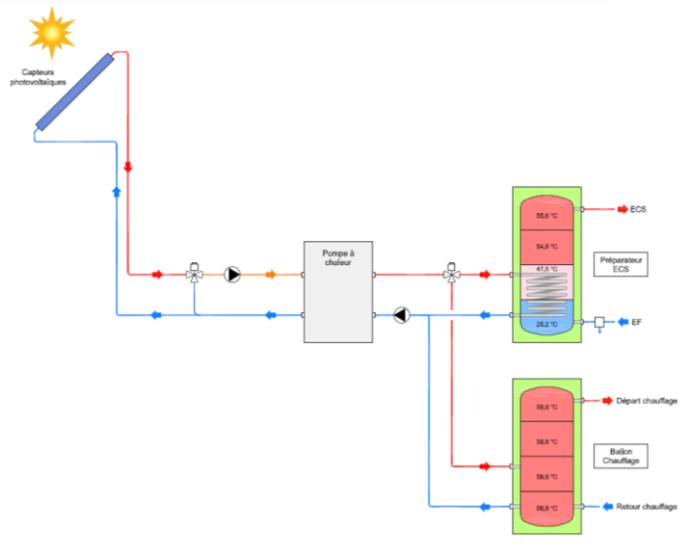


Figure 4 : Li-Mithra fonctionnement en Double Service

Le capteur associé au système Li-Mithra est un panneau hybride constitué de l'ensemble panneau photovoltaïque, échangeur aluminium, collecteur et barre de maintien. Le panneau solaire hybride devra être testé selon la norme de test ISO 9806 applicable aux capteurs à circulation de liquide sans vitrage pour connaître les performances thermiques sous irradiation solaire.

Les caractéristiques du capteur sont des données d'entrée de la modélisation.

Le module « Pompe à chaleur » des machines est composé par une PAC dont les performances sont des données d'entrée de la modélisation. Le module thermodynamique comporte un compresseur à vitesse variable géré par régulation autonome avancée.

Remarque : au-delà de 25°C les puissances absorbées ainsi que les COP ne sont pas valorisés et restent aux mêmes valeurs.

Le système Li-Mithra intègre les pompes hydrauliques qui permettent la circulation du fluide caloporteur dans le capteur et également celles qui permettent la circulation d'ECS et de l'eau chaude chauffage vers les ballons de stockage.

2 pompes de circulations régulées Wilo-Stratos PARA 25/1-8 assurent la circulation des fluides en amont et aval de la pompe à chaleur pour les modèles de PAC de puissances supérieures à 10kW.

Concernant les modèles de pompe à chaleur de puissances inférieures à 10kW., les 2 pompes de circulations assurant la circulation des fluides sont des Wilo-Yonos PICO-STG 15/1-7.5.

Synthèses des circulateurs :

Tableau 1 : Synthèses des circulateurs du système

Modèle PAC	Modèles Circulateurs	Puissance max. des circulateurs [W]	Débit max. des circulateurs [m ³ /h]
Modèle LM1-06M	Wilo-Yonos PICO-STG 15/1-7.5	75	4,5
Modèle LM1-08M	Wilo-Yonos PICO-STG 15/1-7.5	75	4,5
Modèle LM2-10M	Wilo-Stratos PARA 25/1-8	130	8
Modèle LM2-20T	Wilo-Stratos PARA 25/1-8	130	8

Le système Li-Mithra est toujours associé à un appoint. Cet appoint peut s'enclencher lorsqu'il y a des puisages ECS très importants ou en cas de températures extérieures basses.

L'appoint peut être constitué soit d'une résistance électrique placée en haut de la « zone chaude » et/ou peut également être une chaudière (gaz par exemple) en place qui est utilisée pour le chauffage et placée en série avec le système Li-Mithra ou en parallèle.

Système Li-Mithra associé à un appoint électrique :

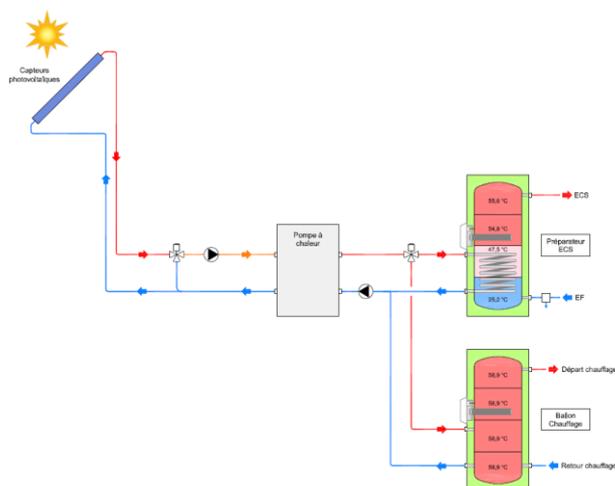


Figure 5 : Système Li-Mithra associé à un appoint électrique

Système Li-Mithra associé à un appoint à combustion en parallèle :

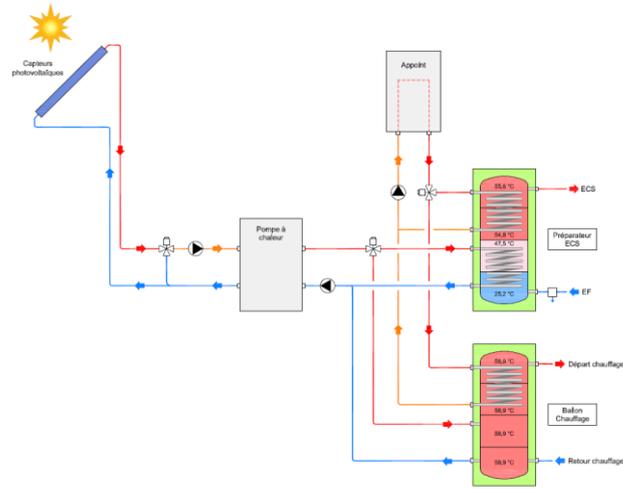


Figure 6 : Système Li-Mithra associé à un appoint à combustion en parallèle

Système Li-Mithra associé à un appoint à combustion en série :

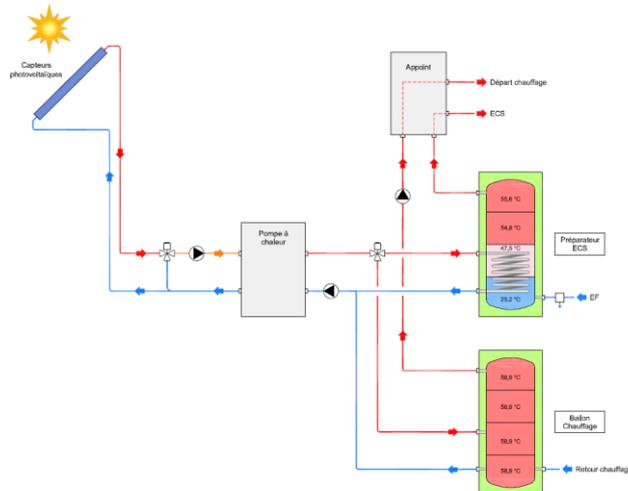


Figure 7 : Système Li-Mithra associé à un appoint à combustion en série

La production PV, récupérée du moteur Th-BCE, permettra de diminuer les consommations électriques finales de la PAC, des auxiliaires et d'un appoint électrique du système. Dans le cas où une possibilité de revente est prévue par l'installateur, la production excédentaire sera alors revendue au réseau.

2. Champ d'application

Le système Li-Mithra est une machine destinée à la production d'Eau Chaude Sanitaire et/ou de l'eau chaude chauffage à l'ensemble des bâtiments soumis à la réglementation thermique 2012.

En pratique, le présent titre V sera limité à des puissances appelées inférieures à 100 kW (cas de 5 PAC de 20 kW en parallèle).

3. Méthode de prise en compte des systèmes

Le titre V déposé est un titre V de type Extension Dynamique. De ce fait, l'intégration du modèle se fera directement au sein même des logiciels de calcul réglementaire. Les équations décrivant le calcul effectué par l'extension dynamique sont quant à elles décrites dans l'annexe « Fiche algo TV Li-Mithra Assemblage ».

L'élément central modélisé dans ces assemblages est le ballon de stockage dans un fonctionnement ECS ou chauffage. Ainsi le principe de base des assemblages de la méthode Th-BCE est gardé mais en modifiant les parties relatives au ballon de stockage. Les étapes préconisées dans la méthode Th-BCE 2012 sont suivies : besoins ECS ou chauffage aux bornes du ballon, volume puisé lors du pas de temps h pour l'ECS et énergie puisée concernant le ballon tampon et calcul des températures dans le ballon à la fin du puisage. Les pertes sont alors calculées par rapport au pas de temps h-1. Elles permettent entre autres de définir les puissances requises par les ballons pour atteindre les consignes.

En fonctionnement double service, la charge du ballon ECS est prioritaire au ballon tampon. Cependant si le ballon ECS est à consigne, le système Li-Mithra produira de l'énergie pour maintenir le ballon tampon à consigne. Par conséquent les différentes étapes de calcul se baseront sur la même logique que le fonctionnement en ECS ou chauffage seul.

Les températures du ballon après pertes et apports sont calculées et permettent de déterminer l'énergie requise pour l'appoint ECS et/ou chauffage et par la suite déterminer les températures du ballon après les apports de l'appoint.

FICHE ALGORITHME ASSEMBLAGE
TITRE V SYSTEME – EXTENSION
DYNAMIQUE

Systeme Li-Mithra

Table des matières

I.	Introduction	10
II.	Nomenclature de l'extension boucle solaire	10
III.	Nomenclature de l'extension production stockage	12
IV.	Description des deux extensions	15
V.	Description mathématique de l'extension boucle solaire	15
VI.	Description mathématique de l'extension production stockage	15
1.	ASSEMBLAGE DE Li-Mithra.....	15
1.1.	Prétraitement des données	15
1.2.	Fonction de l'assemblage	15
1.3.	Position de l'assemblage	15
1.4.	Ordre des calculs fonctionnement ECS	16
	Première étape : besoins d'ECS aux bornes du ballon	17
	Deuxième étape : volume puisé d'ECS et température après puisage	17
	Troisième étape : calculs des pertes du ballon.....	17
	Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon	17
	Cinquième étape : Application des apports du système et des pertes thermiques du ballon ECS	19
	Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon ECS	19
	Septième étape : calcul des températures à la fin du pas de temps h	20
	Huitième étape : générateur pour stockage avec fonction chauffage instantané	20
1.5.	Ordres de calculs fonctionnement chauffage.....	21
	Première étape : besoins chauffage aux bornes du ballon tampon.....	21
	Deuxième étape : volume puisé pour répondre aux besoins chauffage et température après puisage	21
	Troisième étape : calculs des pertes du ballon.....	21
	Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon	21
	Cinquième étape : Application des apports du système et des pertes thermiques du ballon tampon	23
	Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon chauffage.....	23
	Septième étape : calcul des températures à la fin du pas de temps h	23
	Huitième étape : générateur pour stockage avec fonction chauffage instantané	24
1.6.	Ordre des calculs fonctionnement ECS « Bonus » :	25
	Première étape : calcul de la puissance PV produite	26
	Deuxième étape : détermination du fonctionnement « bonus »	26
	Troisième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon en fonctionnement bonus	26
	Quatrième étape : Application des apports bonus du système au ballon ECS et détermination des températures finales.....	27
1.7.	Ordre des calculs fonctionnement Chauffage « Bonus » :	28
	Première étape : calcul de la puissance PV produite	29
	Deuxième étape : détermination du fonctionnement « bonus »	29
	Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon	29

Quatrième étape : Application des apports bonus du système au ballon chauffage et détermination des températures finales	30
1.8. Traitement des données de sortie	31
Calcul des consommations	31
Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour l'ECS	31
Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour les besoins chauffages	31
Calcul des pertes thermiques récupérables.....	31

1. Introduction

Cette fiche algorithme décrit l'assemblage du système Li-Mithra pour le fonctionnement en version ECS seule mais aussi pour le fonctionnement chauffage seul ou double service. Le principe de base du système Li-Mithra est une circulation de fluide sous capteurs photovoltaïque en source amont d'une PAC pour fournir les besoins ECS et/ou chauffage.

Ces assemblages sont considérés comme des assemblages « générateur ». Ainsi, l'interface production stockage est utilisée pour décrire ces assemblages. La dll associée à ces assemblages est nommée « T5_CardonnellIngenierie_Li-Mithra.dll ».

De plus pour décrire la boucle solaire du système Li-Mithra il est nécessaire de développer une autre extension dynamique utilisant l'interface boucle solaire. La dll associée à la boucle solaire est nommée « T5_CardonnellIngenierie_Boucle_Solaire_Li-Mithra.dll ». Cette dll est utile uniquement pour récupérer la valeur de l'ensoleillement sur les capteurs.

Nomenclature de l'extension boucle solaire

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables de la boucle solaire Li-Mithra.

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	-

Gestion/régulation de la génération

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.	-	-	-

¹ Valeurs opérées par d'autres modules.

² Rentrés par l'utilisateur.

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, 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

Nomenclature de l'extension production stockage

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables des assemblages pour la production stockage Li-Mithra :

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
	$\theta_{\text{aval}}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération	°C
Climat	$\theta_{\text{amb}}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	°C
	Text(h)	Température extérieure du site	°C
	$\theta_{\text{cw}}(h)$	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 des ballons 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	-	-	-
Index	Identifiant unique du composant	-	[0 ; +∞[-
Rdim	Nombre de composants identiques	-	[1 ; +∞[1
$\theta_{\text{max_av_lgen}}$	Température aval maximale pour le chauffage	°C	[0 ; +∞[-

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

³ Valeurs opérées par d'autres modules.

⁴ Rentrés par l'utilisateur.

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.

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 fonctionnement ECS ou double service	W
Pn_Gen_Ch	Puissance nominale du générateur en fonctionnement chauffage	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 consommée 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 énergies utilisées (Gaz, Fioul, Charbon, Bois, Electricité, Réseau de fourniture)	Wh
Tz _{ch} (h)	Température de la zone du ballon tampon pour le chauffage numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C
Tz _{ECS} (h)	Température de la zone du ballon ECS numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes ⁸		
Nom	Description	Unité
Qreq_ballon_ecs(h)	Demande en ECS transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
Qw_sto_unit_report(h)	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
T _{ballon_i_it}	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
P _{fournie} (h)	Energie transférée au ballon ECS PAC	Wh

⁸ Variables utilisées uniquement dans le module courant.

Aux(h)	Energie auxiliaire consommée par la charge du ballon	Wh
Aux _{solaire_direct} (h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Pertes_ballon(h)	Pertes thermiques du ballon à la fin du pas de temps h	W
Qreq_sto_app(h)	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
θ _{aval_mod} (h)	Température aval à envoyer au générateur	°C
Qreq_ballon_ch(h)	Demande en chauffage transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
Qw_sto_unit_report_ch(h)	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
T _{ballon_i_it_ch}	Température de la zone du ballon numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage chauffage	°C

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

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

Description des deux extensions

L'extension « Production stockage » décrit le système de Li-Mithra pour le fonctionnement en version ECS seulement mais aussi pour le fonctionnement chauffage seul ainsi que le fonctionnement double service.

L'extension « Boucle solaire » est utile uniquement à la récupération des données d'ensoleillement sur les capteurs solaires. L'extension « Production stockage » est essentielle à la gestion et la régulation du système Li-Mithra.

Dans la modélisation de l'extension « Production stockage », le « Module Ballon », le « Module solaire » et le « Module PAC » sont modélisés. Ces trois composants sont utilisés lors des différentes étapes de l'assemblage.

Description mathématique de l'extension boucle solaire

Etant donné la régulation de la boucle solaire nécessitant le recours aux différentes températures de la boucle solaire et du ballon, nous avons fait le choix de ne pas modéliser la boucle solaire Li-Mithra dans l'extension boucle solaire. Nous avons juste utilisé cette extension pour récupérer les données météo relatives à l'ensoleillement. Ces données sont utilisées dans « Production Stockage » au sein du module interne de boucle solaire « Module solaire ».

Description mathématique de l'extension production stockage

1. ASSEMBLAGE DE Li-Mithra

1.1. Prétraitement des données

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

1.2. Fonction de l'assemblage

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

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

Ou

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

1.3. Position de l'assemblage

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 renvoyée par le moteur.

1.4. Ordre des calculs fonctionnement ECS

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

- Les besoins ECS aux bornes du ballon
- Le volume puisé lors du pas de temps h pour l'ECS
- Les températures dans le ballon à la fin du puisage
- Les pertes ballon par rapport aux températures au pas de temps précédent
- Les apports (PAC avec capteurs solaires en source amont)
- Les températures après ajout des apports et des pertes
- Les apports de l'appoint
- Les températures du ballon après les apports de l'appoint

Première étape : 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 :

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

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* » 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.

Troisième étape : calculs des pertes du ballon

Le calcul des pertes du ballon est décrit plus amplement dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon* ».

Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon

Dans cette quatrième étape décrivant les apports de la pompe à chaleur, il existe deux phases de calculs dans le cas du système Li-Mithra fonctionnant en version ECS et chauffage.

1^{ère} phase : Apports à l'ensemble du ballon

Pour calculer les probables apports de la pompe à chaleur au ballon, il s'agit dans un premier temps d'identifier si le ballon 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 du ballon (via le fonctionnement de la PAC).

Les procédures « regul_base » et « calc_puiss_requise_base » (décrites dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon* ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « $P_{base_requise}$ ».

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 après puisage.

$$T_{avalPAC}(h) = T_{Ballon}^{z=1}(h)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du « *Module Solaire* »). Cette température amont est ensuite mitigée pour ne pas dépasser 25°C.

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

$$P_{fournie} = \min(P_{potentielle_PAC}, P_{base_requise}) \quad (2)$$

$$Conso = \frac{P_{fournie}}{COP} \quad (3)$$

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

Le paramètre « τ_{charge_ECS} » renseigne alors la part d'énergie que la PAC va fournir à la partie du ballon ECS par rapport à l'énergie requise

$$\tau_{charge_ECS} = \min\left(\frac{P_{base_requise}}{P_{potentielle_PAC}}, 1\right)$$

Pour affiner la modélisation de température sortie capteur, il est choisi de moduler la température de sortie en fonction du taux de charge.

Ainsi, si le fonctionnement de la boucle est de 100% la température de sortie capteur reste inchangée. Si le fonctionnement de la boucle est partiel, la température de sortie capteur est une interpolation linéaire entre la température de sortie capteur du pas de temps précédent et la nouvelle température de sortie capteur. Cette correction permet d'avoir des températures de sortie moins élevées lors des charges partielles qui s'explique en pratique par l'inertie du système.

$$T_{sortie_capteur_corrigée} = T_{entrée_capteur} + \tau_{charge} \times (T_{sortie_capteur} - T_{entrée_capteur}) \quad (4)$$

Avec $T_{entrée_capteur}$ 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) :

$$Aux = \tau_{charge_ECS} \times W_{aux_boucle_solaire}$$

$$\phi_{amb3} = \tau_{charge_ECS} \times \phi_{boucle_solaire}$$

Le taux de charge 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 l'éventuelle étape suivante (charge chauffage) n'est

plus nécessaire. Dans le cas où le taux de charge est inférieur à 1 (et que la version Li-Mithra est ECS et chauffage), le calcul se poursuit à la phase suivante.

2ème phase : Apports pour le ballon tampon (cf 1.3) :

Cette phase est à considérer pour identifier si le ballon tampon 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 au ballon.

Les procédures « regul_base_ch » et « calc_puiss_requise_base_ch » (décrites dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon* ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « Puissance_base_requise_ch » pour le ballon tampon.

Cinquième étape : Application des apports du système et des pertes thermiques du ballon ECS

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

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

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

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir la zone chauffée (z=3) 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, nous utilisons les algorithmes des générateurs, qui à partir de l'énergie requise $Q_{req_sto_ap}(h)$, de la température moyenne vue par l'échangeur de charge $T_{moy_ech_ch\ arg e}(h)$ et de son coefficient d'échange, déterminent l'énergie réellement fournie au ballon $Q_{jou_sto_ap}(h)$.

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

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{moy_ech_ch\ arg e}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap}(h); P_{max} \times R_{dim})}{UA_{hx_ch\ arg e}} \quad (5)$$

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.

$$Q_{req_sto_ap}(h) = 1,163 \times Vp \times (55 - T_{puisée}(h)) \quad (6)$$

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{puisée}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap}(h); P_{max} \times R_{dim})}{UA_{hx_ch\ arg e}} \quad (7)$$

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

$$UA_{hx}(V_{tot}) = \frac{UA_{hx}(V_{tot_2}) - UA_{hx}(V_{tot_1})}{V_{tot_2} - V_{tot_1}} \cdot V_{tot} + \frac{UA_{hx}(V_{tot_1}) * V_{tot_2} - UA_{hx}(V_{tot_2}) * V_{tot_1}}{V_{tot_2} - V_{tot_1}}$$

Avec $\begin{cases} V_{tot_1} = 200 L & UA_{hx}(V_{tot_1}) = 1200 W / K \\ V_{tot_2} = 2000 L & UA_{hx}(V_{tot_2}) = 12000 W / K \end{cases}$

Septième étape : calcul des températures à la fin du pas de temps h

Calcul des températures du ballon ECS :

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, nous utiliserons la fiche algorithmique du « *Module Ballon* » et plus précisément la partie *Calcul des températures à la fin du pas de temps h*.

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

Calcul des températures du ballon chauffage en fonctionnement double service :

Lors d'un fonctionnement en double service, nous maintenons le calcul des températures au sein du ballon chauffage si le fonctionnement chauffage n'est pas appelé.

Pour cette étape, nous utiliserons la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* » est plus particulièrement la partie concernant le *Calcul des températures à la fin du pas de temps*.

Ainsi que l'équations suivante :

$$Run_{ch_{hmoins1}} < Pastemps.Veleurs - 1$$

En effet, si la valeur $Run_{ch_{hmoins1}}$ est inférieure à la valeur du pas de temps de la simulation, alors nous faisons appelle au calcul de la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* ».

Ce qui nous permettra de connaître les températures du ballon chauffage en tout temps (le Run_ECS est appelé à tous les pas de temps par le moteur Th-BCE tandis que le Run_Ch n'est appelé qu'en période de chauffe).

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 :

$$Q_{req_assemb_ch}(h) = \frac{Q_{req_ch}(h)}{R_{dim}} \quad (8)$$

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.

1.5. Ordres de calculs fonctionnement chauffage

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

- Les besoins chauffages aux bornes du ballon tampon
- Le volume puisé lors du pas de temps h pour le chauffage
- Les températures dans le ballon à la fin du puisage
- Les pertes ballon par rapport aux températures au pas de temps précédent
- Les apports (PAC avec capteurs solaires en source amont)
- Les températures après ajout des apports et des pertes
- Les apports de l'appoint
- Les températures du ballon après les apports de l'appoint

Première étape : besoins chauffage aux bornes du ballon tampon

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 :

$$Q_{req_ballon_ch}(h) = \frac{Q_{req_ch}(h)}{R_{dim}} \quad (9)$$

Deuxième étape : volume puisé pour répondre aux besoins chauffage et température après puisage

Cette partie permet la détermination du volume puisé pour répondre aux besoins chauffage et des températures du ballon après puisage. A la fin de la boucle itérative, le champ de température du ballon après le puisage est connu.

Pour cette étape, la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* » est utilisée. La partie *Calcul du volume puisé et des températures après puisage* de la fiche décrit l'obtention des températures du ballon après puisage chauffage.

Troisième étape : calculs des pertes du ballon

Le calcul des pertes du ballon est décrit plus amplement dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* ».

Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon

Dans cette quatrième étape décrivant les apports de la pompe à chaleur, il existe une seule phase de calculs dans le cas du système Li-Mithra fonctionnant en version chauffage uniquement.

1^{ère} phase : Apports à l'ensemble du ballon

Pour calculer les probables apports de la pompe à chaleur au ballon, il s'agit dans un premier temps d'identifier si le ballon 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 du ballon (via le fonctionnement de la PAC).

Les procédures « *regul_base_ch* » et « *calc_puiss_requise_base_ch* » (décrites dans la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « *P_{base_requise_ch}* ».

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.

$$T_{aval_{PAC}}(h) = T_{ballon}^{z=1}(h-1)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du « *Module Solaire* »). Cette température amont est ensuite mitigée pour ne pas dépasser 25°C.

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

$$P_{fournie_ch} = \min(P_{potentielle_PAC_ch}, P_{base_requis_ch}) \quad (10)$$

$$Conso = \frac{P_{fournie_ch}}{COP} \quad (11)$$

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

Le paramètre « τ_{charge} » renseigne alors la part d'énergie que la PAC va fournir au ballon tampon par rapport à l'énergie requise

$$\tau_{charge_haut} = \min\left(\frac{P_{base_requis}}{P_{potentielle_PAC}}, 1\right) \quad (12)$$

Pour affiner la modélisation de température sortie capteur, il est choisi de moduler la température de sortie en fonction du taux de charge.

Ainsi, si le fonctionnement de la boucle est de 100% la température de sortie capteur reste inchangée. Si le fonctionnement de la boucle est partiel, la température de sortie capteur est une interpolation linéaire entre la température de sortie capteur du pas de temps précédent et la nouvelle température de sortie capteur. Cette correction permet d'avoir des températures de sortie moins élevées lors des charges partielles qui s'explique en pratique par l'inertie du système.

$$T_{sortie_capteur_corrigée} = T_{entrée_capteur} + \tau_{charge} \times (T_{sortie_capteur} - T_{entrée_capteur}) \quad (13)$$

Avec $T_{entrée_capteur}$ 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) :

$$Aux = \tau_{charge_ch} \times W_{aux_boucle_solaire}$$

$$\Phi_{ambch} = \tau_{charge_ch} \times \Phi_{boucle_solaire}$$

Si ce taux de charge est égal à 1, la PAC a fourni tout ce qu'elle pouvait.

Cinquième étape : Application des apports du système et des pertes thermiques du ballon tampon

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

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

Les températures du ballon chauffage peuvent être appelé dans le cadre d'un fonctionnement en double service. Ce qui permet de connaître les températures du ballon tout au long de l'année lorsque le fonctionnement chauffage n'est pas utilisé.

Sixième étape : gestion-régulation de l'appoint du ballon chauffage

Cette étape permet d'évaluer l'énergie à fournir pour maintenir le ballon 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, nous utilisons les algorithmes des générateurs, qui à partir de l'énergie requise $Q_{req_sto_ap_ch}(h)$, de la température moyenne vue par l'échangeur de charge $T_{moy_ech_charge_ch}(h)$ et de son coefficient d'échange, déterminent l'énergie réellement fournie au ballon $Q_{fou_sto_ap_ch}(h)$.

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

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{moy_ech_charge_ch}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap}(h); P_{max} \times R_{dim})}{UA_{hx_charge}} \quad (14)$$

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 s'il n'est pas à consigne. Une température de puisage chauffage inférieure à la température de départ chauffage est alors calculée afin d'estimer la puissance d'appoint requise.

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

$$\theta_{aval_mod}(h) = T_{puisée}(h) + \frac{\min(Q_{req_sto_ap_ch}(h); P_{max_ch} \times R_{dim})}{UA_{hx_charge}} \quad (15)$$

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

$$UA_{hx}(V_{tot}) = \frac{UA_{hx}(V_{tot_2}) - UA_{hx}(V_{tot_1})}{V_{tot_2} - V_{tot_1}} \cdot V_{tot} + \frac{UA_{hx}(V_{tot_1}) \cdot V_{tot_2} - UA_{hx}(V_{tot_2}) \cdot V_{tot_1}}{V_{tot_2} - V_{tot_1}}$$

$$\text{Avec } \begin{cases} V_{tot_1} = 200 L & UA_{hx}(V_{tot_1}) = 1200 W / K \\ V_{tot_2} = 2000 L & UA_{hx}(V_{tot_2}) = 12000 W / K \end{cases}$$

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, nous utiliserons la fiche algorithmique du « *Module Ballon Tampon* » et plus précisément la partie *Calcul des températures à la fin du pas de temps h*.

La fiche nous renverra 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 :

$$Q_{req_assemb_ch}(h) = \frac{Q_{req_ch}(h)}{R_{dim}} \quad (16)$$

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.

1.6. Ordre des calculs fonctionnement ECS « Bonus » :

L'ordre des calculs suit les étapes suivantes :

- Calcul de l'estimation de la puissance PV fictive produite
- Détermination du fonctionnement « bonus »
- Application des apports du système Li-Mithra au ballon en fonctionnement bonus
- Application des apports bonus du système au ballon ECS et détermination des températures finales

Première étape : calcul de la puissance PV produite

Cette étape permet d'évaluer l'estimation de la production PV permettant la mise en place de la régulation du système Li-Mithra.

La méthode permettant l'estimation de la production PV fictive est la suivante :

$$m_{PV_{Prod_Fictive}} = (P_{mpp} \times nb_{capteurs_{PV}} \times F_m)$$

La puissance PV fictive étant déterminée, il est alors possible de pouvoir déterminer la puissance restante pouvant être utilisée pour le fonctionnement dit « bonus » du mode ECS.

Deuxième étape : détermination du fonctionnement « bonus »

La puissance consommée par la PAC en fonctionnement ECS ou ECS et chauffage permettra de déterminer la puissance PV fictive restante pouvant être utilisée pour le fonctionnement « bonus ».

$$Conso_{PAC} = Conso_{ch} + Conso_{ECS}$$

Par conséquent la puissance restante permettant le fonctionnement bonus est déterminée de la manière suivante :

$$PV_{Fictive_restante} = m_{PV_{Prod}} - Conso_{PAC}$$

La puissance $PV_{Fictive_restante}$ permettra de bénéficier de la puissance PV fictive pour favoriser la charge du ballon ECS à des températures plus élevées afin de valoriser de la production PV à travers le fonctionnement dit « bonus ».

Cependant, il est nécessaire de déterminer le taux de charge de la pompe à chaleur après le fonctionnement initial ECS et/ou chauffage pour déterminer si toutefois la pompe à chaleur peut fonctionner davantage.

$$\tau_{Charge\ PAC} = \tau_{Charge\ CH} + \tau_{Charge\ ECS}$$

La mise en fonctionnement de la PAC en mode « bonus » est mis en place uniquement si le $Taux_{Charge\ PAC}$ est inférieure à 1.

Troisième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon en fonctionnement bonus

Pour calculer les probables apports de la pompe à chaleur au ballon, il s'agit dans un premier temps d'identifier si le ballon 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 du ballon (via le fonctionnement de la PAC).

En fonctionnement bonus, le ballon est en demande d'énergie s'il n'est pas à une consigne de 90°C.

Les procédures « regul_base » et « calc_puiss_requise_base_bonus » (décrites dans la fiche algorithmique du « Module Ballon ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « P_{base_requise_bonus} ».

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 après puisage.

$$T_{avalPAC}(h) = T_{Ballon}^{z=1}(h)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du « Module Solaire »). Cette température amont est ensuite mitigée pour ne pas dépasser 25°C.

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

$$P_{fournie_PAC_ECS_bonus} = \min(Puissance_{base_requis_Bonus}, (PV_{Restant} \times COP_{ECS_Bonus}))$$

$$Conso_{PAC_ECS_bonus} = \frac{P_{fournie_PAC_ECS_bonus}}{COP_{ECS_Bonus}}$$

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

Le paramètre « τ_{charge_ECS} » renseigne alors la part d'énergie que la PAC va fournir à la partie du ballon ECS par rapport à l'énergie requise

$$\tau_{charge_ECS_Bonus} = \min\left(\frac{P_{fournie_PAC_ECS_bonus}}{P_{potentielle_PAC}}, 1\right)$$

Pour affiner la modélisation de température sortie capteur, il est choisi de moduler la température de sortie en fonction du taux de charge.

Ainsi, si le fonctionnement de la boucle est de 100% la température de sortie capteur reste inchangée. Si le fonctionnement de la boucle est partiel, la température de sortie capteur est une interpolation linéaire entre la température de sortie capteur du pas de temps précédent et la nouvelle température de sortie capteur. Cette correction permet d'avoir des températures de sortie moins élevées lors des charges partielles qui s'explique en pratique par l'inertie du système.

$$T_{sortie_capteur_corrigée} = T_{entrée_capteur} + \tau_{charge} \times (T_{sortie_capteur} - T_{entrée_capteur}) \quad (17)$$

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

Il permet alors de moduler les consommations d'auxiliaires associées (dans le cas d'un fonctionnement partiel pendant l'heure). Le taux de charge final permet également de conditionner le reste des calculs.

$$\tau_{Charge_PAC} = \tau_{Charge_CH} + \tau_{Charge_ECS} + \tau_{charge_ECS_Bonus}$$

$$Aux = \tau_{charge_PAC} \times W_{aux_boucle_solaire}$$

$$\Phi_{amb3} = \tau_{charge_PAC} \times \Phi_{boucle_solaire}$$

En effet, si ce taux de charge est égal à 1, la PAC a fourni tout ce qu'elle pouvait et l'éventuelle étape suivante (charge chauffage en fonctionnement bonus) n'est plus nécessaire. Dans le cas où le taux de charge est inférieur à 1 (et que la version Li-Mithra est ECS et chauffage), le calcul se poursuit à la phase suivante, c'est-à-dire au fonctionnement bonus concernant le ballon tampon chauffage.

Quatrième étape : Application des apports bonus du système au ballon ECS et détermination des températures finales

À la suite de l'ajout de ce nouvel apport, les nouvelles températures au sein du ballon sont déterminées.

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

1.7. Ordre des calculs fonctionnement Chauffage « Bonus » :

L'ordre des calculs suit les étapes suivantes :

- Calcul de l'estimation de la puissance PV fictive produite
- Détermination du fonctionnement « bonus »
- Application des apports du système Li-Mithra au ballon en fonctionnement bonus
- Application des apports bonus du système au ballon ECS et détermination des températures finales

Première étape : calcul de la puissance PV produite

Cette étape permet d'évaluer l'estimation de la production PV fictive permettant la mise en place de la régulation du système Li-Mithra.

La méthode permettant l'estimation de la production PV fictive est la suivante :

$$m_{PV_{Prod_Fictive}} = (P_{mpp} \times nb_{capteurs_{PV}} \times F_m)$$

La puissance PV fictive étant déterminée, il est alors possible de pouvoir déterminer la puissance restante pouvant être utilisée pour le fonctionnement dit « bonus » du mode chauffage.

Deuxième étape : détermination du fonctionnement « bonus »

La puissance consommée par la PAC en fonctionnement ECS ou ECS et chauffage permettra de déterminer la puissance PV fictive restante pouvant être utilisée pour le fonctionnement « bonus ».

$$Conso_{Pac} = Conso_{ch} + Conso_{ECS} + Conso_{PAC_ECS_bonus}$$

Par conséquent la puissance restante permettant le fonctionnement bonus est déterminée de la manière suivante :

$$PV_{Fictive_restante} = m_{PV_{Prod_Fictive}} - Conso_{Pac}$$

La puissance $PV_{Fictive_restante}$ permettra de bénéficier de la puissance PV fictive pour favoriser la charge du ballon chauffage à des températures plus élevées afin de valoriser de la production PV à travers le fonctionnement dit « bonus ».

Cependant, il est nécessaire de déterminer le taux de charge de la pompe à chaleur après le fonctionnement initial ECS et/ou chauffage ainsi que le fonctionnement ECS « bonus » pour déterminer si toutefois la pompe à chaleur peut fonctionner davantage.

$$\tau_{Charge\ PAC} = \tau_{Charge\ CH} + \tau_{Charge\ ECS} + \tau_{charge_ECS_Bonus}$$

La mise en fonctionnement de la PAC en mode « bonus » pour le chauffage intervient uniquement si le $\tau_{Charge\ PAC}$ est inférieur à 1.

Quatrième étape : Application des apports du système Li-Mithra au ballon

Pour calculer les probables apports de la pompe à chaleur au ballon, il s'agit dans un premier temps d'identifier si le ballon 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 du ballon (via le fonctionnement de la PAC).

En fonctionnement bonus, le ballon est en demande d'énergie s'il n'est pas à une consigne de 60°C.

Les procédures « regul_base_ch » et « calc_puiss_requise_base_ch_bonus » (décrites dans la fiche algorithmique du « Module Ballon Tampon ») sont ainsi appelées pour déterminer la puissance requise « $P_{base_requise_ch_bonus}$ ».

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.

$$T_{aval_{PAC}}(h) = T_{ballon}^{z=1}(h - 1)$$

La température amont de la PAC est de plus déterminée comme la température de la boucle solaire modifiée (cf fiche algorithmique du « Module Solaire »). Cette température amont est ensuite mitigée pour ne pas dépasser 25°C.

Une fois la température aval et la température amont obtenues, la puissance pouvant être fournie par la PAC « $P_{potentielle_PAC}$ » et le COP « COP_{ch_bonus} » de cette dernière sont calculées (cf fiche algorithmique du « Module PAC »). La puissance réellement fournie « $P_{fournie_PAC_ch_bonus}$ » et la consommation liée à l'énergie fournie à la partie haute du ballon « Conso » sont ensuite déduites :

$$P_{fournie_PAC_Ch_bonus} = \min(Puissance_{base_requis_{Ch_{Bonus}}}, (PV_{Restant} \times COP_{ch_{Bonus}}))$$

$$Conso_{PAC_ch_bonus} = \frac{P_{fournie_PAC_ch_bonus}}{COP_{ch_Bonus}}$$

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

Le paramètre « τ_{charge} » renseigne alors la part d'énergie que la PAC va fournir au ballon tampon par rapport à l'énergie requise

$$\tau_{charge_ch_Bonus} = \min\left(\frac{P_{fournie_PAC_ch_bonus}}{P_{potentielle_PAC}}, 1\right)$$

Pour affiner la modélisation de température sortie capteur, il est choisi de moduler la température de sortie en fonction du taux de charge.

Ainsi, si le fonctionnement de la boucle est de 100% la température de sortie capteur reste inchangée. Si le fonctionnement de la boucle est partiel, la température de sortie capteur est une interpolation linéaire entre la température de sortie capteur du pas de temps précédent et la nouvelle température de sortie capteur. Cette correction permet d'avoir des températures de sortie moins élevées lors des charges partielles qui s'explique en pratique par l'inertie du système.

$$T_{sortie_capteur_corrigée} = T_{entrée_capteur} + \tau_{charge} \times (T_{sortie_capteur} - T_{entrée_capteur}) \quad (18)$$

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

Il permet alors de moduler les consommations d'auxiliaires associées (dans le cas d'un fonctionnement partiel pendant l'heure). Le taux de charge final permet également de conditionner le reste des calculs.

$$\tau_{Charge_PAC} = \tau_{Charge_CH} + \tau_{Charge_ECS} + \tau_{charge_ECS_Bonus} + \tau_{charge_ch_Bonus}$$

$$Aux = \tau_{charge_PAC} \times W_{aux_boucle_solaire}$$

$$\Phi_{ambch} = \tau_{charge_PAC} \times \Phi_{boucle_solaire}$$

Si ce taux de charge est égal à 1, la PAC a fourni tout ce qu'elle pouvait.

Quatrième étape : Application des apports bonus du système au ballon chauffage et détermination des températures finales

À la suite de l'ajout de ce nouvel apport, les nouvelles températures au sein du ballon sont déterminées.

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

1.8. Traitement des données de sortie

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

- du compresseur de la pompe à chaleur ;
- 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 :

$$\begin{aligned} & \{Q_{cef(po;Idengen)}^{assemblage}(h)\} \\ &= R_{dim} \times (W_{auxLiMithra}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\} + Q_{consPACLiMithra}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\} + Q_{cons}^{gnrap}(h) \\ & \times \left(\frac{Q_{reqch}(h) \cdot \{E_{(1;Idengen)}\} + Q_{reqecs}(h) \cdot \{E_{(3;Idengen)}\}}{Q_{reqch}(h) + Q_{reqecs}(h)} \right) + W_{auxpro}^{gnrap}(h) \\ & \times \left(\frac{Q_{reqch}(h) \cdot \{E_{(1;50)}\} + Q_{reqecs}(h) \cdot \{E_{(3;50)}\}}{Q_{reqch}(h) + Q_{reqecs}(h)} \right) \end{aligned}$$

Energie 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 (Module Ballon).

Energie restante à fournir par le générateur d'appoint pour les besoins chauffages

Le report d'énergie pour le chauffage 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 consigne (Module Ballon Tampon).

Calcul des pertes thermiques récupérables

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

$$\phi_{vc}^{gnr}(h) \leftarrow \phi_{vc}^{gnr}(h) \times R_{dim} \quad (19)$$

Les ballons et les PAC liées au système Li-Mithra sont considérés en chaufferie : leurs pertes associées ne sont pas valorisées.

FICHE ALGORITHME TITRE V SYSTEME – EXTENSION DYNAMIQUE

Ballon ECS du système Li-Mithra

Table des matières

I.	Introduction	34
II.	Nomenclature du module ballon	34
III.	Description mathématique du module	37
1.	Initialisation des paramètres intrinsèques	37
2.	PREMIERE ETAPE HORAIRE : BESOINS D'ECS AUX BORNES DU BALLON.....	39
3.	DEUXIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE.....	39
3.1.	Volume puisé pour l'ECS	39
3.2.	Températures pendant puisage ECS.....	41
4.	TROISIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES PERTES	43
5.	QUATRIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION EN VERSION ECS	43
5.1.	Régulation de la charge du ballon.....	43
6.	CINQUIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS	44
6.1.	Calcul de la puissance de base requise	44
6.2.	Calcul de la puissance fournie et des consommations	44
7.	SEPTIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES TEMPERATURES APRES APPORTS ET PERTES 45	
8.	HUITIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DE L'APPOINT	45
9.	NEUVIEME ETAPE HORAIRE : APPORT DE L'APPOINT ET CALCUL DES TEMPERATURES FINALES.....	45
10.	DIXIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT BONUS ...	46
	Calcul de la puissance fournie et des consommations.....	46
	Calcul des températures finales	47

1. Introduction

La modélisation du ballon décrite dans cette fiche est un point essentiel du titre V. C'est en effet ici que sont décrits les charges et décharges du ballon ainsi que les algorithmes de régulation associés. Le ballon de base ECS correspond au ballon chargé par la PAC ayant pour source amont les capteurs solaires.

Nomenclature du module ballon

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du modèle de 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	°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
$marche_base(h-1)$	Indicateur de fonctionnement du système Li-Mithra pour une charge ballon au pas de temps $h-1$	-
$marche_appoint(h-1)$	Indicateur de fonctionnement de l'appoint au pas de temps $h-1$	-
$P_{fournie}(h)$	Energie à transférer au ballon ECS [via assemblage et le module PAC]	Wh
$P_{fournie_Pac_ECS_bonus}$	Energie à transférer au ballon chauffage en mode « bonus » [via assemblage et le module PAC]	Wh
$Text(h)$	Température extérieure	Wh
$I_{sr}^*(h)$	Ensoleillement sur le plan des capteurs	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	Wh/m ²
$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide alimentant le système de production d'ECS	°C
Heure_legale	Heure légale	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
V_{tot}	Volume total du ballon	L	$[1 ; +\infty[$	-
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 laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO, 2 : Par défaut.	-	$[0 ; 2]$	-
UA_s	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	$[0 ; +\infty[$	-
θ_{b_max}	Température maximale du ballon de base ECS	°C	$[50 ; 90]$	90
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_{c_ballon}	Température de consigne du ballon	°C	[50 ; 90]	55-
$\Delta\theta_{consigne_ballon}$	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 numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage ECS	°C
Pertes _{ballon} (h)	Pertes thermiques du ballon de base ECS à la fin du pas de temps h	W
Qreq_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 numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes		
Nom	Description	Unité
Vz	Volume de la zone z du ballon (z de 1 à 4, Vz est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
V _{ballon_zone_min}	Volume minimum d'une zone du(des) ballons	L
V _{reg_base}	Volume caractéristique pour la charge du ballon de base ECS	L
V _{reg_appoint}	Volume caractéristique pour la régulation de l'appoint du ballon de base ECS	L
Uz	Coefficient de pertes de la zone z du ballon hors pression	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	-
Qw_sto_unit(i)	Besoins d'énergie requis en entrée du ballon au début de l'itération i	Wh
Vp(h)	Volume puisé dans le ballon de base ECS au pas de temps h	L
Pe[z](h)	Pertes de la zone z du ballon de base ECS	W

$Apport[z]$	Apport de la zone z du ballon de base ECS	W
$Apport_{appoint}[z]$	Apport de l'appoint à la zone z=3 du ballon de base ECS	W

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
T_{decl_base}	Température de déclenchement du fonctionnement du système Li-Mithra	°C	55
$T_{decl_base_bonus}$	Température de déclenchement du fonctionnement du système Li-Mithra en mode bonus	C	90
T_{arret_base}	Température d'arrêt du fonctionnement du système Li-Mithra	°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

Description mathématique du module

Cette partie établit pour le ballon ECS :

- 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.

1. Initialisation des paramètres intrinsèques

La procédure d'initialisation récupère les paramètres du moteur et permet le calcul préliminaire des valeurs intrinsèques au ballon.

Certaines valeurs sont également fixées dans cette partie car fixes pour toutes les configurations du système Li-Mithra. C'est le cas des températures de déclenchement et d'arrêt pour la régulation de Li-Mithra :

$$T_{decl_base} = 57 \quad (20)$$

$$T_{arret_base} = 55 \quad (21)$$

Pour le ballon, 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.

$$V_3 = V_4 = \frac{f_{aux} V_{tot}}{2} \quad (22)$$

$$V_1 = V_2 = \frac{(1 - f_{aux}) V_{tot}}{2} \quad (23)$$

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 maximal d'itérations lors d'un puisage.

Si $0 < f_{aux} < 1$

$$Nb_{iter_ecs} = Arr.inf \left(\frac{2}{\min(f_{aux}, (1 - f_{aux}))} \right) \quad (24)$$

Sinon

$$Nb_{iter_ecs} = 4 \quad (25)$$

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

$$V_{reg_base1} = V_{Tot}$$

Enfin, l'initialisation des paramètres intrinsèques au ballon se termine par la récupération du coefficient de perte du ballon UA. Ainsi si la valeur UA renseigné par le moteur est utilisé tel quel si elle est issue d'une certification par un organisme COFRAC. Elle est majorée de 10% si elle est justifiée. La valeur du UA par défaut est prise comme la valeur par défaut d'un ballon solaire dans les règles Th-BCE :

$$UA = 0,16.V_{tot}^{0.5} \quad (26)$$

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

$$U_z = UA \cdot \frac{V_z}{V_{tot}} \quad (27)$$

2. PREMIERE ETAPE 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 :

$$Q_{req_ballon_ecs}(h) = \frac{Q_{req_ecs}(h)}{R_{dim}} \quad (28)$$

3. DEUXIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE

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

3.1. Volume puisé pour l'ECS

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

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{req_ecs}(h) + Q_{w_sto_unit_report}(h-1) \quad (29)$$

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

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_4(i-1) - \theta_{cw}(h))}; V_{ballon_zone_min}\right) \quad (30)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (T_4(i-1) - \theta_{cw}(h)) \quad (31)$$

Sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (32)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (33)$$

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 en prenant l'hypothèse d'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

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit}(i)}{C_w \times \rho_w \times (55 - \theta_{cw}(h))}; V_{ballon_zone_min}\right) \quad (34)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) - C_w \times \rho_w \times V_p(i) \times (55 - \theta_{cw}(h)) \quad (35)$$

Sinon

$$V_p(i) = 0 \quad (36)$$

$$Q_{w_sto_unit_report}(i) = Q_{w_sto_unit}(i) \quad (37)$$

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

$$Q_{w_sto_unit}(i) = Q_{w_sto_unit_report}(i-1) \quad (38)$$

Un algorithme de mélange est alors appelé afin que la stratification des températures au sein du ballon soit respectée à chaque itération (cf 3.2).

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 :

$$V_p(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter_ecs}} V_p(i) \quad (39)$$

De plus, après chaque puisage $V_p(i)$ il sera nécessaire de calculer les nouvelles températures au sein du ballon.

3.2. Températures pendant puisage ECS

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

Après puisage, une zone contient un mélange du volume puisé à la température de la zone inférieure avec le reste de la zone. Cet effet est exprimé comme ci-dessous et nous obtenons la température dans le ballon après puisage ECS $T_{z_puis}(i)$:

$$T_{puis}[z] = \frac{T_z(i-1) \times (V_z - V_p(i)) + T_{z-1}(i-1) \times V_p(i)}{V_z} \quad (40)$$

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 $\theta_{cw}(h)$.

Si le volume de puisage V_p calculé précédemment est inférieur au volume de la première zone du ballon ECS 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

Par la suite, on applique l'algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012 sur le ballon.

Et nous obtenons les températures du ballon ECS à la fin de cette étape de puisage :

$$T_{z_Nbiter_ecs}(h) = T_{z_puis_ecs}(Nb_{iter_ecs}) \quad (41)$$

Pour z variant de 1 à Nb_{z_ecs}

L'algorithme de mélange TH-BCE est rappelé ci-après. Nous intégrons de plus à la fin de cet algorithme la minoration de chaque température du ballon par la température maximale pouvant être atteinte par ce dernier.

Initialisation : $a = 1$

Tant que le ballon ne respecte pas cette condition

$$\theta_{ba}(i) \leq \theta_{b(a+1)}(i) \leq \theta_{b(a+2)}(i) \leq \theta_{b(a+3)}(i)$$

si $\theta_{ba}(i) > \theta_{b(a+1)}(i)$ et $a+1 \leq N_{zones}$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} > \theta_{b(a+2)}(i) \text{ et } a+2 \leq N_{zones}$$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} > \theta_{b(a+3)}(i) \text{ et } a+3 \leq N_{zones}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \theta_{b(a+3)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+3} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+3} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

$$\text{sinon } \left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

$$\text{sinon } \left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

sinon $a = a + 1$

4. TROISIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES PERTES

Cependant, les pertes sont les pertes thermiques du ballon vers l'air ambiant. Les pertes de la zone z sont données par l'équation :

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

Pour z variant de 1 à 4.

Les pertes totales du ballon sont la somme des pertes des zones. Elles seront considérées comme étant récupérables si la génération à laquelle le ballon appartient est en volume chauffé.

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

5. QUATRIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION EN VERSION ECS

Il est important dans un premier temps de réguler les apports de la PAC au ballon ECS. En fonction du fonctionnement ou non, le ballon sera chargé ou non.

5.1. Régulation de la charge du ballon

En préambule, le fonctionnement du système Li-Mithra n'est autorisé uniquement si la température extérieure est supérieure à -15°C. « marche_base », qui caractérise cette autorisation de fonctionnement, est initialisé à 0. La régulation de la charge 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).

$$Z_{base} = 1$$

$$marche_{base1}(h) = 0$$

$$\text{Si } T_{ext} < -15$$

$$marche_{base1}(h) = 0$$

Sinon

$$\text{Si } T_{z_{base1}}(h) < T_{decl_base1} + \frac{Pertes_{ballon}}{C_w \times \rho_w \times V_{tot}}$$

$$\text{Si } V_p > 0$$

$$marche_{base1}(h) = 1$$

$$\text{Si } T_{z_{base}}(h) < T_{arret_base}$$

$$marche_{base1}(h) = 1$$

$$\text{Si } T_{decl_base} < T_{z_{base}}(h) < T_{arret_base} \text{ \& } marche_{base1}(h - 1) = 1$$

$$marche_{base1}(h) = 1$$

Sinon

$$marche_{base1}(h) = 0$$

Sinon

$$marche_{base}(h) = 0$$

L'algorithme proposé est donc semblable à la régulation proposée dans les règles Th-BCE. Une différenciation a été faite essentiellement sur $marche_{base}(h - 1)$ plutôt qu'une comparaison entre la température du pas de temps $(h - 2)$ et $(h - 1)$. En effet, certains cas pouvaient montrer une augmentation entre la température de la zone de base au pas de temps $(h - 2)$ et cette température au pas de temps $(h - 1)$ alors que le $marche_{base}(h - 1)$ était nul (cas d'inversion de couches avec l'appel de l'algorithme de mélange).

6. CINQUIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS

Si la régulation autorise la charge du ballon, 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.

6.1. Calcul de la puissance de base requise

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

Pour rappel, $V_{reg_base1} = V_{Tot}$

$$T_{base_equiv} = \sum_{z=1}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base1}}$$

$$P_{base_requis} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base1} \times (T_{decl_base} - T_{base_equiv}) + Pertes_{ballon} \times \frac{V_{reg_base1}}{V_{tot}}, 0]$$

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

6.2. Calcul de la puissance fournie et des consommations

L'assemblage (cf fiche algorithme 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 $P_{fournie}$.

$$P_{fournie} = \min(P_{potentielle_PAC}, P_{base_requis})$$

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

$$Apport_{[z_{base}]} = P_{fournie}$$

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 $P_{fournie}$ correspondant au chargement du ballon ECS.

7. SEPTIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES TEMPERATURES APRES APPORTS ET PERTES

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

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

Pour z variant de 1 à 4

Pour ce champ de température, l'algorithme de mélange est appelé afin de respecter la stratification au sein du ballon.

8. HUITIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DE L'APPOINT

Une fois les températures du ballon tampon calculées après pertes et apports de la PAC, il est indispensable de vérifier si l'appoint est nécessaire pour respecter la température de consigne « $\theta_{consigne_ballon}$ ». L'appoint de Li-Mithra fonctionne de manière permanente ou de nuit, ce choix est libre pour l'utilisateur via le paramètre « type gestion appoint ».

$$z_{appoint} = 3$$

Si $T_{z_{appoint}}(h) < \theta_{c_ballon}$

$$\text{Si } T_{z_{appoint}}(h) < \theta_{c_ballon} - \Delta_{consigne_ballon}$$

$$marche_{appoint}(h) = 1$$

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

$$marche_{appoint}(h) = 1$$

Sinon

$$marche_{appoint}(h) = 0$$

Sinon

$$marche_{appoint}(h) = 0$$

9. NEUVIEME ETAPE HORAIRE : APPORT DE L'APPOINT ET CALCUL DES TEMPERATURES 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.

Si $marche_{appoint}(h) = 1$

$$T_{appoint_equiv} = \sum_{z=3}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_appoint}}$$

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

θ_{c_ballon} correspond bien 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 : $\theta_{c_ballon} - \Delta_{consigne_ballon}$ (cf huitième étape horaire).

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

$$Q_{req_sto_app} = P_{appoint_requis}$$

L'assemblage retourne après appel au moteur 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.

$$Apport_{appoint}[z_{appoint} = 3] = Q_{fou_gen_ECS}$$

Les températures finales sont alors calculées :

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

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.

10. DIXIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT BONUS

De manière similaire au calcul de la puissance de base requise, si le fonctionnement est autorisé, une température de base équivalente est calculée. Cette température permet de déduire la puissance requise pour le fonctionnement « bonus ».

Pour rappel, $V_{reg_base_ch} = V_{Tot_ch}$

$$T_{base_equiv_bonus} = \sum_{z=1}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base}}$$

$$P_{base_requis_bonus} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base} \times (T_{decl_base_bonus} - T_{base_equiv_bonus}), 0]$$

Pour rappel, $T_{decl_base_bonus} = 90^\circ C$ pour toutes les versions de Li-Mithra.

Calcul de la puissance fournie et des consommations

L'assemblage (cf fiche algorithme 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 nécessaire pour que le ballon atteigne $90^\circ C$.

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

$$P_{fournie_PAC_ECS_bonus} = \min(P_{Base_requis_ECS_bonus}, (PV_{Fictive_restante} \times COP_{ECS_Bonus}))$$

Avec pour rappel :

$$Conso_{PAC} = Conso_{ch} + Conso_{ECS}$$

Et

$$PV_{Fictive_restante} = m_{PV_{Prod_Fictive}} - Conso_{Pac}$$

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

$$Apport_{[z_{base}]} = P_{fournie_PAC_ECS_bonus}$$

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 $P_{fournie_PAC_ECS_bonus}$ correspondant au chargement du ballon.

Calcul des températures finales

À la suite de l'application de cette nouvelle puissance afin d'obtenir une température au sein du ballon de 90°C.

Il est nécessaire de recalculer les températures finales du ballon. Ce fonctionnement étant basé uniquement sur la valorisation de la puissance PV, il n'est en aucun cas nécessaire d'un appoint.

Les températures finales sont alors calculées :

$$T [z] = T[z] + \frac{P_{fournie_PAC_ECS_bonus}[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z}$$

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.

FICHE ALGORITHME TITRE V **SYSTEME – EXTENSION** **DYNAMIQUE**

Ballon tampon du système Li-Mithra

Table des matières

I.	Introduction	50
II.	Nomenclature du module ballon	50
III.	Description mathématique du module	52
1.	Initialisation des paramètres intrinsèques	52
1.1.	Type de ballon :	52
2.	PREMIERE ETAPE HORAIRE : BESOIN DE CHAUFFAGE AUX BORNES DU BALLON TAMPON 54	
3.	DEUXIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE.....	54
3.1.	Volume puisé pour le chauffage.....	54
3.2.	Températures pendant le puisage des besoins de chauffage	56
4.	TROISIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES NOUVELLES PERTES	58
5.	QUATRIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION EN VERSION CHAUFFAGE	58
5.1.	Régulation de la charge du ballon.....	58
6.	CINQUIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS	59
6.1.	Calcul de la puissance de base requise	59
6.2.	Calcul de la puissance fournie et des consommations	59
7.	SEPTIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES TEMPERATURES APRES APPORTS ET PERTES 60	
8.	HUITIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DE L'APPOINT	60
9.	NEUVIEME ETAPE HORAIRE : APPORT DE L'APPOINT ET CALCUL DES TEMPERATURES FINALES.....	60
10.	DIXIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT BONUS ...	61
	Calcul de la puissance de base en fonctionnement « bonus »	61
	Calcul de la puissance fournie et des consommations.....	61
	Calcul des températures finales	62

1. Introduction

La modélisation du ballon décrite dans cette fiche est un point essentiel du titre V. C'est en effet ici que sont décrits les charges et décharges du ballon ainsi que les algorithmes de régulation associés. Le ballon tampon pour le chauffage correspond au ballon chargé par la PAC ayant pour source amont les capteurs solaires.

Nomenclature du module ballon

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du modèle de 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 chauffage	°C
$Q_{req_ch}(h)$	Demande en chauffage transmise au ballon via la gestion/régulation de l'assemblage	Wh
$Q_{w_sto_unit_report_ch}(h-1)$	Energie non assurée au pas de temps h-1, reportée au pas de temps courant	Wh
$marche_base_ch(h-1)$	Indicateur de fonctionnement du système Li-Mithra pour une charge ballon au pas de temps h-1	-
$marche_appoint_ch(h-1)$	Indicateur de fonctionnement de l'appoint au pas de temps h-1	-
$P_{fournie_ch}(h)$	Energie à transférer au ballon chauffage [via assemblage et le module PAC]	Wh
$P_{fournie_Pac_ch_bonus}(h)$	Energie à transférer au ballon chauffage en mode « bonus » [via assemblage et le module PAC]	Wh
$Text(h)$	Température extérieure	Wh
$I_{sr}^*(h)$	Ensoleillement sur le plan des capteurs	°C
$\theta_{amb}(h)$	Température d'ambiance du lieu où se trouve la génération	Wh/m ²
$\theta_{cw}(h)$	Température de l'eau froide alimentant le système de production d'ECS	°C
Heure_legale	Heure légale	°C

Paramètres intrinsèques du composant				
Nom	Description	Unité	Intervalle	Conv.
V_{tot_ch}	Volume total du ballon tampon	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 laboratoire « accrédité » sur la base d'une norme ou d'un projet de norme européenne ou ISO, 2 : Par défaut.	-	[0 ; 2]	-
UA_s	Coefficient de pertes thermiques du ballon	W/K	[0 ; +∞[-
$\theta_{b_ch_max}$	Température maximale du ballon de chauffage	°C	[55 ; 90]	60
θ_{depart_ch}	Température de départ de la distribution de chauffage fixée par l'utilisateur	°C	-	-

Type_gestion_appoint	Type de gestion du thermostat d'appoint du ballon : 0 : Chauffage permanent 1 : Chauffage de nuit	-	[0 ; 1]	-
$\theta_{\text{consigne_ballon_ch}}$	Température de consigne du ballon chauffage	°C	[30 ; 100]	-
$\Delta\theta_{\text{consigne_ballon_ch}}$	Hystérésis du système de régulation du ballon chauffage	°C	[0 ; 10]	-

Sorties		
Nom	Description	Unité
$Qw_{\text{sto_unit_report_ch}}(h)$	Energie non assurée au pas de temps h, reportée au pas de temps suivant	Wh
$T_{\text{puis_ch}}[z]$	Température de la zone du ballon de chauffage numéro z (z=[1 :4]) à la fin de la boucle itérative de puisage des besoins de chauffage	°C
$Pertes_{\text{ballon_ch}}(h)$	Pertes thermiques du ballon de chauffage à la fin du pas de temps h	W
$Qreq_{\text{sto_app_ch}}$	Energie requise à l'appoint pour remonter le ballon jusqu'à sa température de consigne	Wh
$T[z]$	Température de la zone du ballon tampon de chauffage numéro z (z=[1 : 4]) au pas de temps h	°C

Variables internes		
Nom	Description	Unité
Vz	Volume de la zone z du ballon (z de 1 à 4, Vz est déterminé une fois pour toutes au début de la modélisation)	L
$V_{\text{ballon_zone_min_ch}}$	Volume minimum d'une zone du ballons	L
$V_{\text{reg_base_ch}}$	Volume caractéristique pour la charge du ballon chauffage	L
$V_{\text{reg_appoint_ch}}$	Volume caractéristique pour la régulation de l'appoint du ballon de chauffage	L
Uz_{ch}	Coefficient de pertes de la zone z du ballon hors pression	W/K
$Nb_{\text{iter_ch}}$	Nombre d'itérations maximales pour le calcul de la boucle de puisage chauffage	-
$Qw_{\text{sto_unit}}(i)$	Besoins d'énergie requis en entrée du ballon au début de l'itération i	
$Vp_{\text{ch}}(h)$	Volume puisé dans le ballon chauffage au pas de temps h	L
$Pe_{\text{ch}}[z](h)$	Pertes de la zone z du ballon tampon chauffage	W
$Apport_{\text{ch}}[z]$	Apport de la zone z du ballon de chauffage	W

$Apport_{appoint_ch}[z]$	Apport de l'appoint à la zone z=3 du ballon de chauffage	W
---------------------------	--	---

Constantes			
Nom	Description	Unité	Conv.
$T_{decl_base_ch}$	Température de déclenchement du fonctionnement du système Li-Mithra	°C	55
$T_{decl_base_ch_bonus}$	Température de déclenchement du fonctionnement du système Li-Mithra en mode bonus	°C	60
$T_{arret_base_ch}$	Température d'arrêt du fonctionnement du système Li-Mithra	°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

Description mathématique du module

Cette partie établit pour le ballon tampon :

- Ses caractéristiques ;
- L'énergie puisée pour répondre aux besoins de chauffage et les températures après puisage ;
- Ses températures après application des apports de chaleur par la PAC et des pertes thermiques du ballon ;
- Ses températures après application des apports de chaleur par l'appoint.

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

1. Initialisation des paramètres intrinsèques

1.1. Type de ballon :

La procédure d'initialisation récupère les paramètres du moteur et permet le calcul préliminaire des valeurs intrinsèques au ballon.

Certaines valeurs sont également fixées dans cette partie car fixes pour toutes les configurations du système Li-Mithra. C'est le cas des températures de déclenchement et d'arrêt pour la régulation de Li-Mithra :

$$T_{decl_base_ch} = \theta_{consigne_ballon_ch} + 2$$

$$T_{arret_base_ch} = \theta_{consigne_ballon_ch} - 2$$

Pour le ballon, le découpage du ballon se résume à 4 zones thermiques de la même façon que dans les règles Th-BCE.

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

Il est alors possible de déterminer le volume minimum d'une zone du (des) ballon(s) et ainsi de déduire le nombre maximal d'itérations lors d'un puisage.

$$Nb_{iter_ch} = 4 \quad (42)$$

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

$$V_{reg_base} = V_{Tot_ch}$$

Enfin, l'initialisation des paramètres intrinsèques au ballon se termine par la récupération du coefficient de perte du ballon UA. Ainsi si la valeur UA renseigné par le moteur est utilisé tel quel si elle est issue d'une certification par un organisme COFRAC. Elle est majorée de 10% si elle est justifiée. La valeur du UA par défaut est prise comme la valeur par défaut d'un ballon solaire dans les règles Th-BCE :

$$UA = 0,16.V_{tot_ch}^{0.5} \quad (43)$$

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

$$U_{z_ch} = UA \cdot \frac{V_z}{V_{tot_ch}} \quad (44)$$

2. PREMIERE ETAPE HORAIRE : BESOIN DE CHAUFFAGE AUX BORNES DU BALLON TAMPON

Le besoin de chauffage horaire transmis par l'émetteur 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 :

$$Q_{req_{ballon_{ch}}}(h) = \frac{Q_{req_{ch}}(h)}{R_{dim}}$$

3. DEUXIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DU VOLUME PUISE ET DES TEMPERATURES APRES PUISAGE

Dans cette partie, nous déterminerons l'énergie puisée pour répondre aux besoins chauffage et les températures du ballon tampon après puisage. Nous déterminerons également le report d'énergie. Cette étape correspond à la 2^{ème} étape de l'assemblage global.

3.1. Volume puisé pour le chauffage

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

$$Q_{w_sto_unit_ch}(i) = Q_{req_ch}(h) + Q_{w_sto_unit_report_ch}(h-1) \quad (45)$$

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

$$V_{p_ch}(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit_ch}(i)}{C_w \times \rho_w \times (T_4(i-1) - \theta_{retour_ch}(h))}; V_{ballon_zone_min}\right) \quad (46)$$

$$Q_{w_sto_unit_report_ch}(i) = Q_{w_sto_unit_ch}(i) - C_w \times \rho_w \times V_{p_ch}(i) \times (T_4(i-1) - \theta_{retour_ch}(h)) \quad (47)$$

Sinon

$$V_{p_ch}(i) = 0 \quad (48)$$

$$Q_{w_sto_unit_report_ch}(i) = Q_{w_sto_unit_ch}(i) \quad (49)$$

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 consigne. Les volumes puisés à chaque itération sont alors calculés en prenant l'hypothèse d'une température de sortie égale à la température de consigne afin de permettre le puisage du ballon :

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

$$V_p(i) = \min\left(\frac{Q_{w_sto_unit_ch}(i)}{C_w \times \rho_w \times (\theta_{consigne_ballon_ch} - \theta_{retour_ch}(h))}; V_{ballon_zone_min_ch}\right) \quad (50)$$

$$Q_{w_sto_unit_report_ch}(i) = Q_{w_sto_unit_ch}(i) - C_w \times \rho_w \times V_{p_ch}(i) \times (\theta_{consigne_ballon_ch} - \theta_{retour_ch}(h)) \quad (51)$$

Sinon

$$V_{p_ch}(i) = 0 \quad (52)$$

$$Q_{w_sto_unit_report_ch}(i) = Q_{w_sto_unit_ch}(i) \quad (53)$$

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

$$Q_{w_sto_unit_ch}(i) = Q_{w_sto_unit_report_ch}(i-1) \quad (54)$$

Un algorithme de mélange est alors appelé afin que la stratification des températures au sein du ballon soit respectée à chaque itération (cf 3.2).

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

La boucle itérative sur le volume puisé dans le ballon se termine ici. La dernière valeur de l'énergie $Q_{w_sto_unit_report_ch}(Nb_{iter_ch})$ 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 :

$$V_{p_ch}(h) = \sum_{i=1}^{Nb_{iter_ch}} V_{p_ch}(i) \quad (55)$$

De plus, après chaque puisage $V_{p_ch}(i)$ il sera nécessaire de calculer les nouvelles températures au sein du ballon.

3.2. Températures pendant le puisage des besoins de chauffage

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

Après puisage, une zone contient un mélange du volume puisé à la température de la zone inférieure avec le reste de la zone. Cet effet est exprimé comme ci-dessous et nous obtenons la température dans le ballon après puisage du besoin chauffage $T_{z_puis}(i)$:

$$T_{puis_ch}[z] = \frac{T_z(i-1) \times (V_z - V_{p_ch}(i)) + T_{z-1}(i-1) \times V_{p_ch}(i)}{V_z} \quad (56)$$

Pour z allant de 1 à Nb_{z_ch}

Si $z = 1$ (zone inférieure), nous remplacerons $T_{z-1}(i-1)$ par la température de l'eau entrant dans le ballon qui est l'eau de retour de l'émetteur qui est renvoyé par le moteur Th-BCE comme le besoin horaire.

Si le volume de puisage V_{p_ch} calculé précédemment est inférieur au volume de la première zone du ballon tampon la température de cette zone est calculée par mélange entre l'eau de retour émetteur et la température de la zone précédente.

Si ce volume de puisage est supérieur à la première zone, la première zone est entièrement à la température de retour du circuit de l'émetteur et ce sont les zones suivantes qui sont calculées par mélange. Un volume restant $V_{p_rest_ch}$ est alors identifié

Par la suite, on applique l'algorithme de mélange des zones proposé par la méthode Th-BCE 2012 sur le ballon.

Et nous obtenons les températures du ballon tampon à la fin de cette étape de puisage :

$$T_{z_Nbiter_ch}(h) = T_{z_puis_ch}(Nb_{iter_ch})$$

Pour z variant de 1 à Nb_{z_ch}

L'algorithme de mélange TH-BCE est rappelé ci-après. Nous intégrons de plus à la fin de cet algorithme la minoration de chaque température du ballon par la température maximale pouvant être atteinte par ce dernier.

Tant que le ballon ne respecte pas cette condition

$$\theta_{ba}(i) \leq \theta_{b(a+1)}(i) \leq \theta_{b(a+2)}(i) \leq \theta_{b(a+3)}(i)$$

si $\theta_{ba}(i) > \theta_{b(a+1)}(i)$ et $a+1 \leq N_{zones}$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} > \theta_{b(a+2)}(i) \text{ et } a+2 \leq N_{zones}$$

$$\text{si } \frac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} > \theta_{b(a+3)}(i) \text{ et } a+3 \leq N_{zones}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \theta_{b(a+3)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+3} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+3} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

$$\text{sinon } \left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \theta_{b(a+2)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+2} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+2} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

$$\text{sinon } \left\{ \begin{array}{l} \theta_{ba}(i) = \theta_{b(a+1)}(i) = \frac{\sum_{j=a}^{a+1} V_j \cdot \theta_{bj}(i)}{\sum_{j=a}^{a+1} V_j} \\ \text{puis } a=1 \end{array} \right.$$

sinon $a = a+1$

4. TROISIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES NOUVELLES PERTES

Cependant, les pertes sont les pertes thermiques du ballon vers l'air ambiant. Les pertes de la zone z sont données par l'équation :

$$Pe_{z_ch}(h) = U_{z_ch} \times (T_z(h-1) - \theta_{amb}(h))$$

Pour z variant de 1 à 4

Les pertes totales du ballon sont la somme des pertes des zones. Elles seront considérées comme étant récupérables si la génération à laquelle le ballon appartient est en volume chauffé.

$$Pe_{ch}(h) = \sum_z Pe_{z_ch}(h)$$

Au premier pas de temps de la simulation, nous prendrons $T_z(h-1) = \theta_{consigne_ballon_ch}$.

5. QUATRIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION EN VERSION CHAUFFAGE

Il est important dans un premier temps de réguler les apports de la PAC au ballon de chauffage. En fonction du fonctionnement du système, le ballon tampon sera chargé ou non.

5.1. Régulation de la charge du ballon

En préambule, le fonctionnement du système Li-Mithra n'est autorisé uniquement si la température extérieure est supérieure à -15°C. « marche_base_ch », qui caractérise cette autorisation de fonctionnement, est initialisé à 0. La régulation de la charge du ballon se fait vis-à-vis de la zone de base $Z_{base_ch}=2$ avec la température de base issue du calcul des températures après puisage (cf assemblage).

$$Z_{base_ch} = 2$$
$$marche_{base_ch}(h) = 0$$

$$\text{Si } T_{ext} < -15$$
$$marche_{base_ch}(h) = 0$$

Sinon

$$\text{Si } T_{z_{base_ch}}(h) < T_{decl_base_ch} + \frac{Pertes_{ballon}}{C_w \times \rho_w \times V_{tot_ch}}$$

$$\text{Si } T_{z_{base_ch}}(h) < T_{arret_base_ch}$$
$$marche_{base_ch}(h) = 1$$

$$\text{Si } T_{decl_base_ch} < T_{z_{base_ch}}(h) < T_{arret_base_ch} \text{ \& } marche_{base_ch}(h-1) = 1$$
$$marche_{base_ch}(h) = 1$$

Sinon

$$marche_{base_ch}(h) = 0$$

Sinon

$$marche_{base_ch}(h) = 0$$

L'algorithme proposé est donc semblable à la régulation proposée dans les règles Th-BCE. Une différenciation a été faite essentiellement sur $marche_{base_ch}(h-1)$ plutôt qu'une comparaison entre la température du pas de temps $(h-2)$ et $(h-1)$. En effet, certains cas pouvaient montrer une augmentation entre la température de la zone de base au pas de temps $(h-2)$ et cette température au pas de temps $(h-1)$ alors que le $marche_{base_ch}(h-1)$ était nul (cas d'inversion de couches avec l'appel de l'algorithme de mélange).

6. CINQUIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES APPORTS

Si la régulation autorise la charge du ballon, 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.

6.1. 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 (« $P_{base_requis3}$ »)

Pour rappel, $V_{reg_base_ch} = V_{Tot_ch}$

$$T_{base_equiv_ch} = \sum_{z=1}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base_ch}}$$

$$P_{base_requis_ch} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base_ch} \times (T_{decl_base_ch} - T_{base_equiv_ch}) + Pertes_{ballon} \times \frac{V_{reg_base_ch}}{V_{Tot_ch}}, 0]$$

Pour rappel, $T_{decl_base_ch} = \theta_{consigne_ballon_ch} + 2$ pour toutes les versions de Li-Mithra.

6.2. Calcul de la puissance fournie et des consommations

L'assemblage (cf fiche algorithme 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 $P_{fournie_ch}$.

$$P_{fournie_ch} = \min(P_{potentiellePAC}, P_{base_requis_ch})$$

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

$$Apport_{[z_{base}]} = P_{fournie_ch}$$

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 $P_{fournie_ch}$ correspondant au chargement du ballon.

7. SEPTIEME ETAPE HORAIRE : CALCUL DES TEMPERATURES APRES APPORTS ET PERTES

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

$$T [z] = T_{\text{puis}} + \frac{\text{Apport} [z] - \text{Pe}_{\text{ch}}[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z}$$

Pour z variant de 1 à 4

Pour ce champ de température, l'algorithme de mélange est appelé afin de respecter la stratification au sein du ballon.

8. HUITIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DE L'APPOINT

Une fois les températures du ballon tampon calculées après pertes et apports de la PAC, il est indispensable de vérifier si l'appoint est nécessaire pour respecter la température de consigne « $\theta_{\text{consigne_ballon}}$ ». L'appoint de Li-Mithra fonctionne de manière permanente ou de nuit, ce choix est libre pour l'utilisateur via le paramètre « type gestion appoint ».

$$z_{\text{appoint_ch}} = 3$$

Si $T_{z_{\text{appoint_ch}}}(h) < \theta_{\text{consigne_ballon_ch}}$

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

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

Sinon

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

Sinon

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

9. NEUVIEME ETAPE HORAIRE : APPORT DE L'APPOINT ET CALCUL DES TEMPERATURES 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.

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

$$T_{\text{appoint_equiv_ch}} = \sum_{z=3}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{\text{reg_appoint_ch}}}$$

$$P_{\text{appoint_requis_ch}} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{\text{reg_appoint_ch}} \times (\theta_{\text{consigne_ballon_ch}} - T_{\text{appoint_equiv_ch}}), 0]$$

$\theta_{\text{consigne_ballon_ch}}$ correspond bien 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 : $\theta_{consigne_ballon_ch} - \Delta_{consigne_ballon_ch}$ (cf huitième étape horaire).

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

$$Q_{req_sto_app_ch} = P_{appoint_requis_ch}$$

L'assemblage retourne après appel au moteur l'énergie réellement fournie par l'appoint $Q_{fou_gen_ch}$.

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

$$Apport_{appoint}[z_{appoint} = 3] = Q_{fou_gen_ch}$$

Les températures finales sont alors calculées :

$$T[z] = T[z] + \frac{Apport_{appoint_ch}[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z}$$

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.

10. DIXIEME ETAPE HORAIRE : REGULATION DU MODE DE FONCTIONNEMENT BONUS

Calcul de la puissance de base en fonctionnement « bonus »

De manière similaire au calcul de la puissance de base requise, si le fonctionnement est autorisé, une température de base équivalente est calculée. Cette température permet de déduire la puissance requise pour le fonctionnement « bonus ».

Pour rappel, $V_{reg_base_ch} = V_{Tot_ch}$

$$T_{base_equiv_ch_bonus} = \sum_{z=1}^4 \frac{T_z \times V_z}{V_{reg_base_ch}}$$

$$P_{base_requis_ch_bonus} = \max[C_w \times \rho_w \times V_{reg_base_ch} \times (T_{decl_base_ch_bonus} - T_{base_equiv_ch}), 0]$$

Pour rappel, $T_{decl_base_ch_bonus} = \theta_{b_ch_max} = 60^\circ C$ pour toutes les versions de Li-Mithra.

Calcul de la puissance fournie et des consommations

L'assemblage (cf fiche algorithme 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 nécessaire pour que le ballon atteigne 60°C.

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

$$P_{fournie_PAC_ch_bonus} = \min(P_{Base_requis_ch_bonus}, (PV_{Fictive_restante} \times COP_{ch_Bonus}))$$

Avec pour rappel :

$$Conso_{Pac} = Conso_{ch} + Conso_{ECS} + Conso_{PAC_ECS_bonus}$$

Et

$$PV_{Fictive_restante} = m_{PV_{Prod_Fictive}} - Conso_{Pac}$$

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

$$Apport_{[z_{base}]} = P_{fournie_PAC_ch_bonus}$$

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 $P_{fournie_PAC_ch_bonus}$ correspondant au chargement du ballon.

Calcul des températures finales

À la suite de l'application de cette nouvelle puissance afin d'obtenir une température au sein du ballon de 60°C.

Il est nécessaire de recalculer les températures finales du ballon. Ce fonctionnement étant basé uniquement sur la valorisation de la puissance PV, il n'est en aucun cas nécessaire d'un appoint.

Les températures finales sont alors calculées :

$$T [z] = T[z] + \frac{P_{fournie_PAC_ch_bonus}[z]}{C_w \times \rho_w \times V_z}$$

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.

FICHE ALGORITHME TITRE V **SYSTEME – EXTENSION DYNAMIQUE**

PAC pour le système Li-Mithra

Table des matières

I.	Introduction	65
II.	Nomenclature du module PAC	65
III.	Description mathématique du module	67
1.	Initialisation des paramètres	67
1.1.	COP :.....	Erreur ! Signet non défini.
1.2.	Puissances absorbées :.....	Erreur ! Signet non défini.
	<i>Matrices des coefficients de performances bornée à 25°C.....</i>	Erreur ! Signet non défini.
	<i>Matrices des Puissances électriques absorbées par les Groupes Thermodynamiques bornée à 25°C</i>	Erreur ! Signet non défini.
2.	Détermination des performances horaires	68

1. 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 6 kW 2 : PAC 8 kW 3 : PAC 10 kW 4 : PAC 20 kW	-	[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 _{θav}	Coefficient d'interpolation en fonction de la température aval	-

$C_{\theta am}$	Coefficient d'interpolation en fonction de la température amont	-
LR	Taux de charge	
P_{fou_LR}	Puissance fournie à charge partielle	W
$P_{fou_PC_Brut}$	Puissance maximale que peut fournir le générateur dans les conditions de température amont aval au pas de temps h	W
Ccp	Correction de la performance en fonction de la charge	
P_{comp}	Puissance appelée par le compresseur	W

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

1. Initialisation des paramètres

La procédure d'initialisation récupère les paramètres de l'assemblage et fixe les COP et les puissances absorbées selon la valeurs pivot et la valeur de la puissance absorbée renseigné par l'utilisateur.

En effet ces valeurs sont déduites des matrices, renseigné au sein de la demande Titre V, en fonction du modèle de pompe à chaleur présente au sein du système Li-Mitra.

Statut des performances :

Le statut des performances (COP_pivot) peut correspondre à l'un des deux cas suivants :

- *Certifié* : les valeurs de COP saisies sont certifiées par un organisme indépendant accrédité selon la norme NF EN 45 011 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation, sur la base de la norme NF EN 14511.
- *Justifié* : les valeurs de COP saisies sont justifiées par un essai par un laboratoire indépendant et accrédité selon la norme NF EN ISO/CEI 17025 par le COFRAC ou tout autre organisme d'accréditation signataire de l'accord européen multilatéral pertinent pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation sur la base de la norme NF EN 14511 : les valeurs de calcul sont égales à 0,9 x valeur saisie.

1.1. Matrice de performance :

La matrice de performance est construite conformément aux règles Th-BCE. Elle se compose de la manière suivante :

		Matrice des performances							
Température amont		-10	-5	0	5	10	15	20	25
Température Aval	25	Multiplication par Cnnav_COP(X;0)		Cop_pivot x Cnnav_COP(X;35)	Multiplication par Cnnav_COP(0;X)				
	35	COP_pivot x Cnnav_COP(X;0)		Cop_Pivot (Saisie)	COP_pivot x Cnnav_COP(0;X)				
	45	Multiplication par Cnnav_COP(X;0)		Cop_pivot x Cnnav_COP(35;X)	Multiplication par Cnnav_COP(0;X)				
	55								
	65								

Les coefficients de correction obtenus sont les suivants :

		Matrice des performances							
Température amont		-10	-5	0	5	10	15	20	25
Température Aval	25			1,2					
	35	0,8	0,9	Cop_Pivot (Saisie)	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	45			0,8					
	55			0,7					
	65			0,6					

1.2. Matrice de puissances absorbées :

La matrice des puissances absorbées se détermine de la manière suivante :

		Matrice des performances							
Température amont		-10	-5	0	5	10	15	20	25
Température Aval	25	Multiplication par Cnnav_Pabs(X;0)		Pabs_pivot x Cnnav_Pabs(X;35)	Multiplication par Cnnav_Pabs(0;X)				
	35	Pabs_pivot x Cnnav_Pabs(X;0)		Pabs_Pivot (Saisie)	Pabs_pivot x Cnnav_Pabs(0;X)				
	45	Multiplication par Cnnav_Pabs(X;0)		Pabs_pivot x Cnnav_Pabs(35;X)	Multiplication par Cnnav_Pabs(0;X)				
	55								
	65								

Et nous avons obtenu les coefficients de corrections suivants :

		Matrice des performances							
Température amont		-10	-5	0	5	10	15	20	25
Température Aval	25			1,1					
	35	0,9	0,95	Pabs_Pivot (Saisie)	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25
	45			0,9					
	55			0,8					
	65			0,7					

2. Détermination des performances horaires

L'assemblage a dans un premier temps calculé les températures amont et aval de la PAC (cf fiche algorithme Assemblage). Les algorithmes d'interpolation sont **identiques à ceux présentés dans les règles Th-BCE** :

Algorithme pour $\theta_{amont}(h)$:

Si $\theta_{amont}(h) < Val_{\theta_{amont}}(1)$

$$i_{\theta_{am}}1 = 1$$

$$i_{\theta_{am}}2 = 1$$

$$\theta_{am}1 = \theta_{amont}(h)$$

$$\theta_{am}2 = Val_{\theta_{amont}}(1)$$

Si $\theta_{amont}(h) > Val_{\theta_{amont}}(N_{\theta_{amont}})$

$$i_{\theta_{am}1} = N_{\theta_{amont}}$$

$$i_{\theta_{am}2} = N_{\theta_{amont}}$$

$$\theta_{am1} = Val_{\theta_{amont}}(N_{\theta_{amont}})$$

$$\theta_{am2} = \theta_{amont}(h)$$

Sinon,

Pour $i_{\theta_{amont}}$ allant de 2 à $N_{\theta_{amont}}$,

Si $\theta_{amont}(h) \leq Val_{\theta_{amont}}(i_{\theta_{amont}})$, alors,

$$i_{\theta_{am}1} = i_{\theta_{amont}} - 1$$

$$i_{\theta_{am}2} = i_{\theta_{amont}}$$

$$\theta_{am1} = Val_{\theta_{amont}}(i_{\theta_{am}1})$$

$$\theta_{am2} = Val_{\theta_{amont}}(i_{\theta_{am}2})$$

Coupure de la boucle 'pour'

Algorithme pour $\theta_{\text{aval}}(h)$:

Si $\theta_{\text{aval}}(h) < \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(1)$

$$i_{\theta_{\text{av}}}1 = 1$$

$$i_{\theta_{\text{av}}}2 = 1$$

$$\theta_{\text{av}}1 = \theta_{\text{aval}}(h)$$

$$\theta_{\text{av}}2 = \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(1)$$

Si $\theta_{\text{aval}}(h) > \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(N_{\theta_{\text{aval}}})$

$$i_{\theta_{\text{av}}}1 = N_{\theta_{\text{aval}}}$$

$$i_{\theta_{\text{av}}}2 = N_{\theta_{\text{aval}}}$$

$$\theta_{\text{av}}1 = \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(N_{\theta_{\text{aval}}})$$

$$\theta_{\text{av}}2 = \theta_{\text{aval}}(h)$$

Sinon,

Pour $i_{\theta_{\text{aval}}}$ allant de 2 à $N_{\theta_{\text{aval}}}$,

Si $\theta_{\text{aval}}(h) \leq \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(i_{\theta_{\text{aval}}})$, alors,

$$i_{\theta_{\text{av}}}1 = i_{\theta_{\text{aval}}} - 1$$

$$i_{\theta_{\text{av}}}2 = i_{\theta_{\text{aval}}}$$

$$\theta_{\text{av}}1 = \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(i_{\theta_{\text{av}}}1)$$

$$\theta_{\text{av}}2 = \text{Val}_{\theta_{\text{aval}}}(i_{\theta_{\text{av}}}2)$$

Coupure de la boucle 'pour'

Calculs des coefficients d'interpolation

$$C_{\theta_{am}}(h) = \frac{\theta_{amont}(h) - \theta_{am1}}{\theta_{am2} - \theta_{am1}} \quad C_{\theta_{av}}(h) = \frac{\theta_{aval}(h) - \theta_{av1}}{\theta_{av2} - \theta_{av1}}$$

Calcul de la performance

$$COP_{pc}(h) = (1 - C_{\theta_{am}}) * (1 - C_{\theta_{av}}) * \{ValCOP(i_{\theta_{am}1}, i_{\theta_{av}1})\} + C_{\theta_{am}} * (1 - C_{\theta_{av}}) * \{ValCOP(i_{\theta_{am}2}, i_{\theta_{av}1})\} + C_{\theta_{av}} * (1 - C_{\theta_{am}}) * \{ValCOP(i_{\theta_{am}1}, i_{\theta_{av}2})\} + C_{\theta_{am}} * C_{\theta_{av}} * \{ValCOP(i_{\theta_{am}2}, i_{\theta_{av}2})\}$$

$$Pabs_{pc}(h) = (1 - C_{\theta_{am}}) * (1 - C_{\theta_{av}}) * \{ValPabs(i_{\theta_{am}1}, i_{\theta_{av}1})\} + C_{\theta_{am}} * (1 - C_{\theta_{av}}) * \{ValPabs(i_{\theta_{am}2}, i_{\theta_{av}1})\} + C_{\theta_{av}} * (1 - C_{\theta_{am}}) * \{ValPabs(i_{\theta_{am}1}, i_{\theta_{av}2})\} + C_{\theta_{am}} * C_{\theta_{av}} * \{ValPabs(i_{\theta_{am}2}, i_{\theta_{av}2})\}$$

Bien qu'identiques aux algorithmes des règles Th-BCE, il est nécessaire de coder ce module PAC dans « Production Stockage » afin d'obtenir les COP et les puissances absorbées et fournies dans le module assemblage.

Enfin, il est nécessaire de corriger la consommation du système Li-Mithra en charge partielle 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}

Le comportement à charge partielle d'une machine dépend de sa technologie, le système Li-Mithra est associé à une pompe à chaleur ayant un compresseur à régulation de puissance variable géré par régulation autonome avancée.

Par conséquent, dans un premier temps, le compresseur va s'adapter à la charge, puis, si la charge diminue en dessous de la valeur correspondant au niveau de charge du compresseur, celui-ci va fonctionner par cycles.

Le calcul se déroule alors en plusieurs étapes :

Fonctionnement en mode continu du compresseur :

$$Pfou_{LR} \geq (Pfou_{pc_brut} \times LR_{contmin})$$

Avec :

$$LR = \frac{Pfou_{LR}}{Pfou_{pc_brut}}$$

$$Pfou_{LR} = \min \{Q_{req_act} ; Pfou_{pc}\}$$

Sur la plage de fonctionnement continu du compresseur à puissance réduite, on a :

$$Pabs = Pcomp + Paux$$

$$Paux = Taux \times Pabs_nom$$

Avec $Pabs_nom$ la puissance électrique absorbée par la pompe à chaleur du système Li-Mithra correspondante au régime Tamont 8,5°C et Taval 47,5°C (correspondant à un régime moyen de fonctionnement de la machine sur l'année)

Il convient de noter que P_{compma} est par nature nul ici.

Le COP, calculés sur la consommation du compresseur seul (hors auxiliaires), varient linéairement en fonction de la charge dans la plage de fonctionnement continu.

En revanche, on caractérise les performances, le taux minimal de charge en fonctionnement continu, $LR_{contmin}$, et le coefficient de correction de la performance correspondant, $CCP_{LRcontmin}$, pour l'ensemble moteur et auxiliaires. $LR_{contmin}$ et $CCP_{LRcontmin}$ peuvent être obtenus par des essais.

En effet, du fait du mode de test on ne peut pas distinguer P_{comp} et P_{aux} .

Nota : de ce fait, P_{abs} ne varie pas linéairement avec LR .

On est donc amené à déterminer un COP_{net} ou un EER_{net} et un CCP_{net} , c'est-à-dire hors auxiliaires. Alors CCP_{net} varie linéairement sur la plage $LR_{contmin}$; 1.

On présente la formulation en mode chauffage :

$$COP_{pc_{net}} = \frac{P_{fou_{pc_{brut}}}}{P_{comp_{pc}}} = \frac{COP_{pc} \times P_{fou_{pc_{brut}}}}{P_{fou_{pc_{brut}}} - COP_{pc} \times P_{aux}}$$

$$CCP_{LRcontmin_{net}} = \frac{LR_{contmin} \times P_{comp_{pc}} \times CCP_{LRcontmin}}{LR_{contmin} \times P_{abs_{pc}} - CCP_{LRcontmin} \times P_{aux}}$$

$$P_{comp_{pc}} = P_{abs_{pc}} - P_{aux}$$

Envoyer un message d'alerte lorsque :

$$LR_{contmin} \times P_{abs_{pc}} < CCP_{LRcontmin} \times P_{aux}$$

« Les données de la machine thermodynamiques entrées ne permettent pas un calcul correct et ne permettent pas de juger de la conformité réglementaire du projet. »

Pour un taux de charge situé entre $LR_{contmin}$ et 1 :

$$COP_{LR_{net}} = COP_{pc_{net}} \times \left(1 + [CCP_{LRcontmin_{net}} - 1] \times \frac{1 - LR}{1 - LR_{contmin}}\right)$$

$$P_{comp_{LR}} = \frac{P_{fou_{LR}}}{COP_{LR_{net}}}$$

$$P_{abs_{LR}} = P_{comp_{LR}} + P_{aux}$$

$$COP_{LR} = \frac{P_{fou_{LR}}}{P_{abs_{LR}}}$$

Fonctionnement par cycle, lorsque la charge diminue en dessous de la charge minimale du compresseur :

Lorsque :

$$P_{fou_{LR}} < (P_{fou_{pc_{brut}}} \times LR_{contmin})$$

Avec :

$$LR_{cycl} = \frac{P_{fou_{LR}}}{P_{fou_{pc_{brut}}} \times LR_{contmin}}$$

$$P_{fou_{LR}} = \min \{Q_{req_{act}} ; P_{fou_{pc}}\}$$

Le compresseur fonctionne en cycle marche arrêt.

En valeur moyenne sur une heure, le fonctionnement est le suivant :

1^{ère} étape : La puissance du compresseur, P_{comp} , varie linéairement entre 0 pour $LR = 0$ et $P_{comp_LRcontmin}$ pour $LR = LR_{contmin}$:

$$P_{comp_LR} = P_{comp_LRcontmin} \times \left(1 - \frac{LR_{contmin} - LR}{LR_{contmin}}\right)$$

Avec :

$$P_{comp_LRcontmin} = \frac{P_{fou_LRcontmin}}{COP_{LRcontmin_net}}$$

2^{ème} étape : La puissances des auxiliaires, P_{aux} , est constante et peut être exprimée en fonction de la puissance appelée à pleine charge, P_{abs_nom} ,

$$P_{aux} = Taux \times P_{abs_nom}$$

Avec : P_{abs_nom} , valeur de $ValPabs(icol, ilign)$ pour la valeur pivot.

3^{ème} étape : La puissance liée aux irréversibilités, P_{compma} , est nulle à charge nulle et à charge $LR_{contmin}$. À l'intérieur de cette plage, sa valeur est égale à :

$$P_{compma_LR} = P_{comp_LRcontmin} \times \left(\frac{Deq \times (LR_{cycl}) \times (1 - LR_{cycl})}{Dfou0}\right)$$

Avec :

Deq est la durée équivalente liée aux irréversibilité, c'est une caractéristique de la pompe à chaleur.

Deq peut-être recalée sur des résultats d'essais à charge partielle en fonctionnement tout ou rien.

Mais Deq pourra être égale à 0,5 minute dans le cas d'une valeur par défaut.

$Dfou0$ est la durée de fonctionnement à charge tendant vers 0. Elle correspond simplement au temps nécessaire pour remonter le circuit de distribution en température quand il n'y a pas émission et que le compresseur fonctionne.

Le tableau ci-dessous en donne les valeurs.

Inertie	Forte	Moyenne	Légère	Très légère	ECS
Typologie	Plancher et plafond chauffant ou rafraîchissant intégrés au bâti (inertie forte)	Radiateurs ; plafonds chauffants ou rafraîchissant d'inertie moyenne	Ventilo convecteurs ; valeur par défaut pour la distribution à eau ; plafonds chauffants ou rafraîchissant d'inertie faible	Système à air	
$Dfou0$ en min	32	19	6	2	26
Typ_émetteur	1	2	3	4	5

FICHE ALGORITHME TITRE V **SYSTEME – EXTENSION DYNAMIQUE**

Boucle Solaire Li-Mithra

Table des matières

I.	Introduction	76
II.	Nomenclature du module interne boucle solaire	76
III.	Description mathématique du module	79
1.	Calcul de la température de boucle en mode ECS, chauffage ou double service	80
2.	Calcul de la température de sortie échangeur de PAC	81

1. Introduction

Le modèle ci-dessous inclut 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** ».

Nomenclature du module interne boucle solaire

Les tableaux ci-dessous donnent la nomenclature des différentes variables du modèle de 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
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]	-
S_capteur	Surface de capteurs solaires	m ²	[0 ; +∞[-
K _e	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 ; +∞[-
U _e	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 ; +∞[-

deb_{sol}	Débit nominal passant dans les capteurs lors du fonctionnement	L/h]0 ; +∞[-
$P_{P_{sol}}$	Puissance électrique nominale de la pompe solaire	W]0 ; +∞[-

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
$Q_{solint}(h)$	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/(m².K)
$T_{entrée_capteur}(h)$	Température d'entrée dans les capteurs solaires	°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

Description mathématique du module

La modélisation de la boucle solaire proposée est identique à celle proposée dans les règles Th-BCE pour le solaire direct. La modélisation a été adaptée pour permettre la prise en compte des pertes vers la voûte céleste, du vent et des temps de fonctionnement. On admet ainsi que 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 permet la détermination de la température de boucle, température de source amont de la PAC (pour la charge du ballon de base ECS et tampon dans la version chauffage ou double service).

1. Calcul de la température de boucle en mode ECS, chauffage ou double service

Le fonctionnement de la boucle solaire via les capteurs non vitrés sera fréquent car le principe du système Li-Mithra est d'utiliser la température de boucle solaire comme température de source amont de la PAC. « Calcul_boucle_solaire2 » s'attache ainsi à calculer la température de boucle T_{boucle} qui agira en tant que température de source amont pour la PAC dans « Module PAC ».

Il est décidé de modifier le calcul équivalent RT de la température de boucle pour le mode PAC seule afin d'améliorer la cohérence des résultats. En effet, la modélisation RT renvoie une température de boucle trop haute ne permettant pas de valoriser une augmentation de surface de capteurs.

En partant de la température de sortie d'échangeur de PAC, $T_{sortie_HX_PAC}$ (en pratique on considère cette température $T_{sortie_HX_PAC}$ comme la température de sortie de l'échangeur PAC côté évaporateur à l'utilisation précédente (cf fiche algorithme Assemblage : 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).

$$T_{entrée_capteur}(h) = B \times T_{sortie_HX_PAC}(h-1) + C \quad (57)$$

Avec

$$B = \frac{-\frac{U_e}{2} - \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}}{\frac{U_e}{2} + \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (58)$$

$$C = \frac{2 \times \left(\alpha_p \times P_{p_solaire}(h) + \frac{U_e}{2} \times T_{ext}(h) + \frac{U_i}{2} \times T_{amb_sol} \right)}{\frac{U_e}{2} + \frac{U_i}{2} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (59)$$

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

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

$$\begin{aligned} & Q_{er} \times S_{capteur} + \eta_0 (1 - bu \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times Isr^* \times K_\theta \\ & - (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times \left(\frac{T_{entrée_capteur}(h) + T_{sortie_capteur}(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) \\ & = deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol} \times (T_{sortie_capteur}(h) - T_{entrée_capteur}(h)) \end{aligned} \quad (60)$$

$$T_{sortie_capteur}(h) =$$

$$\frac{Q_{rt} \times S_{capteur} + \eta_0 (1 - bu \times v_{vent}) Isr^* \times K_\theta \times S_{capteur} + (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \times T_{ext}(h) + T_{entrée_capteur}(h) \times \left(deb_{sol}(h) \times C_{glycol} - \frac{1}{2} (b_1 + b_2 \times v_{vent}) \times S_{capteur} \right)}{deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol} + \frac{a_1}{2} \times S_{capteur}} \quad (61)$$

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

$$Q_{er}^* = h_{re} \cdot (T_{eciel} - T_e) \cdot \max(\cos(\beta), 0) \quad (62)$$

Avec $h_{re} = 5,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ tel que défini dans les règles Th-BCE.

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

$$T_{entrée_HX_PAC}(h) = B \times T_{sortie_capteur}(h) + C \quad (63)$$

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

2. 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. Il est donc important de bien préciser dans le « Module Assemblage » ces 2 entrées qui permettront le calcul de la température de sortie de PAC.

$$T_{sortie_HX_PAC}(h) = T_{entrée_HX_PAC}(h) - \frac{P_{récupérée_PAC}}{deb_{sol}(h) \times C_{glycol} \times \rho_{glycol}} \quad (64)$$

Avec

$$P_{récupérée_PAC} = P_{fournie_PAC} \left(1 - \frac{1}{COP} \right) \quad (65)$$

Remarque : le COP est récupérable du fait que le « module PAC » et le module « boucle solaire » sont codés dans Production Stockage.