

ANNEXE 3

FICHE ALGORITHME «BOUCHE SOLAIRE DRAIN BACK»

I. Introduction

Cette fiche algorithme inclut les capteurs et la boucle de fluide entre les capteurs et le ballon hors pression, fluide provenant de l'eau de stockage du ballon. Ce modèle horaire détermine l'énergie potentiellement récupérable pour le ou les ballon(s) hors pression, 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.

II. 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
T1_Nbiter(h)	Température de la zone 1 du ballon après puisage pour l'ECS ou pour le chauffage	°C
T3_Nbiter(h)	Température de la zone 3 du ballon après puisage pour l'ECS ou pour le chauffage	°C
Tb(h-1) et (h-2)	Température à la sortie des capteurs solaires au pas de temps précédents	°C
marche_sol(h-1)	Indicateur de régulation de la boucle solaire au pas de temps précédent	-
Isr_star(h)	Irradiance (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 ; +∞[-
n_0	Rendement optique d'un capteur solaire	-	[0 ; 1]	-
K _θ	Facteur d'angle d'incidence	-	[0 ; 1]	-
a1	Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire	W/(m ² .K)	[0 ; +∞[-
a2	Coefficient de pertes du deuxième ordre	W/(m ² .	[0 ; +∞[-

	d'un capteur solaire	K ²)		
Ue	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	W/(m.K)	[0 ; +∞[-
Ui	Coefficient de transmission thermique de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	W/(m.K)	[0 ; +∞[-
Le_aller	Longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	m	[0 ; +∞[-
Le_retour	Longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'extérieur	m	[0 ; +∞[-
Li_aller	Longueur aller du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	m	[0 ; +∞[-
Li_retour	Longueur retour du réseau de la boucle solaire en contact avec l'intérieur du bâtiment	m	[0 ; +∞[-
deb_sol_nom	Débit nominal de fluide solaire passant dans la boucle solaire	L/h]0 ; +∞[-
Pp_solaire_max	Puissance électrique maximale de la pompe solaire	W	[0 ; +∞[-
Pp_solaire_min	Puissance électrique minimale de la pompe solaire	W	[0 ; +∞[-
θb_max	Température maximale du ballon	°C	[0 ; +∞[85
θmax_capteurs	Température maximale des capteurs	°C	[0 ; +∞[95
θregul_solaire	Température de mise en fonctionnement de la boucle solaire (différence de température entre le bas du ballon et la sortie des capteurs pour laquelle la boucle se met en fonctionnement)	°C	[0 ; +∞[15
θrelance_pompe	Température de sortie des capteurs pour laquelle il est nécessaire de mettre en fonctionnement la pompe secondaire pour éviter une surchauffage	°C	[0 ; +∞[70
θstop_boucle	Température d'arrêt de la boucle solaire (différence de température entre le bas du ballon et la sortie des capteurs pour laquelle la boucle s'arrête)	°C	[0 ; +∞[2
tmise_en_service	Durée de la phase de démarrage durant laquelle les deux pompes sont en fonctionnement	min	[0 ; +∞[2

Sorties		
Nom	Description	Unité
W_aux_boucle_solaire(h)	Consommation électrique de l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire, en énergie finale	Wh
Φvc_BS(h)	Pertes thermiques vers l'ambiance de la	Wh

	boucle solaire	
deb_sol(h)	Débit de fluide solaire passant dans la boucle solaire	L/h
Tb(h)	Température à la sortie des capteurs	°C
Te(h)	Température de retour dans le ballon	°C
marche_sol(h)	Indicateur de régulation de la boucle solaire	-

Variables internes		
Nom	Description	Unité
angle_incidence(h)	Angle d'incidence	rad
K_incidence(h)	Facteur d'angle d'incidence	-
Td(h)	Température à l'entrée des capteurs	°C
α_p (h)	Part de la puissance de la pompe transférée au fluide sous forme de chaleur	-
tfunc_pompe_princ(h)	Temps de fonctionnement de la pompe principale de la boucle solaire	h
tfunc_pompe_sec(h)	Temps de fonctionnement de la pompe secondaire de la boucle solaire	h
Mod_circ_sol(h)	Modulation de la consommation électrique de la pompe suivant le débit qui passera dans la boucle solaire	-
Wpompe_princ(h)	Consommation électrique de la pompe principale de la boucle solaire, en énergie finale	W
Wpompe_sec(h)	Consommation électrique de la pompe secondaire de la boucle solaire, en énergie finale	W

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

III. Description mathématique du module

Cette partie établit pour la boucle solaire :

- le débit circulant dans la boucle solaire,
- la consommation de ses auxiliaires,
- les pertes en volume chauffé de la boucle solaire,
- l'énergie solaire potentiellement récupérable avec les températures à différents points de la boucle solaire.

1. ENERGIE SOLAIRE POTENTIELLEMENT RECUPERABLE

Une fois tout le volume puisé pour l'ECS et le chauffage, on va calculer les apports et les pertes à appliquer au ballon. On s'occupe pour le moment de déterminer l'énergie solaire potentiellement récupérable.

1.1. Débit dans la boucle solaire

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

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

On calcule d'abord le débit de fluide solaire passant dans la boucle entre les capteurs et le ballon :

- lorsque les deux pompes solaires sont en fonctionnement le débit solaire est égal au débit solaire nominal.
- lorsque seule la pompe n°1 est en fonctionnement, celle-ci régule le débit en fonction de la différence de température départ-retour de la boucle solaire.

Pour décrire cette régulation du débit solaire celui-ci est décrit par une fonction affine dépendant de la différence de température entre la sortie des capteurs et la sortie du ballon hors pression.

Pour déterminer les coefficients de cette fonction affine, le débit solaire est égale à 30% du débit solaire nominal lorsque la différence de température est minimale c'est-à-dire peu après le déclenchement de la boucle solaire et l'arrêt de la seconde pompe permettant le remplissage de la boucle.

De plus le débit nominal est atteint lorsque la température en sortie des capteurs est égale à $\theta_{relance_pompe}$ (paramétrable), température à laquelle la fonction booster s'enclenche et les deux pompes fonctionnent alors à 100% de puissance afin d'éviter toute ébullition éventuelle dans les capteurs.

Ainsi les équations suivantes sont obtenues :

$$deb_{sol_nom} = a \times (\theta_{relance_pompe} - T_1(Nb_{iter})) + b \quad (1)$$

$$0,2 \times deb_{sol_nom} = a \times \theta_{regul_solaire} + b \quad (2)$$

D'où

$$deb_{sol}(h) = a \times (T_b(h-1) - T_1(Nb_{iter})) + b \quad (3)$$

Avec

$$a = \frac{0,8 \times deb_{sol_nom}}{\theta_{relance_pompe} - T_1(Nb_{iter}) - \theta_{regul_solaire}} \quad (4)$$

$$b = deb_{sol_nom} - \frac{0,8 \times deb_{sol_nom} \times (\theta_{relance_pompe} - T_1(Nb_{iter}))}{\theta_{relance_pompe} - T_1(Nb_{iter}) - \theta_{regul_solaire}} \quad (5)$$

1.2. Température de la boucle solaire

Pour le moment, on calcule les températures dans la boucle solaire en supposant que la pompe solaire est en marche (on s'occupera de la gestion/régulation de la boucle solaire après).

On part de la température en sortie du ballon hors pression après le puisage ECS ou le puisage chauffage. Cette température correspond à la température basse $T_1(Nb_iter)$ du ballon hors pression. A partir de cette température, on calcule la température en entrée des capteurs $T_d(h)$ en appliquant des pertes de réseau. On résout l'équation suivante :

$$U_e \times L_{e,aller} \times \left(\frac{T_1(Nb_iter) + T_d(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) + U_i \times L_{i,aller} \times \left(\frac{T_1(Nb_iter) + T_d(h)}{2} - T_{amb_sol} \right) \quad (6)$$

$$- \alpha_p \times P_{p_solaire_max} = deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w \times (T_1(Nb_iter) - T_d(h))$$

L'équation suivante sur $T_d(h)$ est obtenue :

$$T_d(h) = B \times T_1(Nb_iter) + C \quad (7)$$

Avec

$$B = \frac{-U_e \times L_{e,aller} - U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w}{U_e \times L_{e,aller} + U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w} \quad (8)$$

$$C = \frac{2 \times (\alpha_p \times P_{p_solaire_max} + U_e \times L_{e,aller} \times T_{ext}(h) + U_i \times L_{i,aller} \times T_{amb_sol})}{U_e \times L_{e,aller} + U_i \times L_{i,aller} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w} \quad (9)$$

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

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

$$\begin{aligned} & \eta_0 \times S_{capteur} \times Isr \times K_\theta - a_1 \times S_{capteur} \times \left(\frac{T_b(h) + T_d(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) \\ & - a_2 \times S_{capteur} \times \left(\frac{T_b(h) + T_d(h)}{2} - T_{ext}(h) \right)^2 \\ & = deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w \times (T_b(h) - T_d(h)) \end{aligned} \quad (10)$$

L'équation suivante du second degré est obtenue :

$$coef_a \times X^2 + coef_b \times X + coef_c = 0 \quad (11)$$

Avec

$$X = T_b(h) + T_d(h) \quad (12)$$

$$coef_a = \frac{-a_2 \times S_{capteur}}{4} \quad (13)$$

$$coef_b = a_2 \times S_{capteur} \times T_{ext}(h) - \frac{a_1 \times S_{capteur}}{2} - deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w \quad (14)$$

$$coef_c =$$

$$\begin{aligned} & \eta_0 \times S_{capteur} \times Isr \times K_\theta + a_1 \times S_{capteur} \times T_{ext}(h) - a_2 \times S_{capteur} \times T_{ext}(h)^2 \\ & + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w \times T_d(h) \end{aligned} \quad (15)$$

Cette équation sur X est résolue pour obtenir $T_b(h)$.

Enfin, on détermine la température de retour dans le ballon $T_e(h)$ en appliquant des pertes de réseau. On résout l'équation suivante :

$$U_e \times L_{e,retour} \times \left(\frac{T_b(h) + T_e(h)}{2} - T_{ext}(h) \right) + U_i \times L_{i,retour} \times \left(\frac{T_b(h) + T_e(h)}{2} - T_{amb_sol} \right) \quad (16)$$

$$= deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w \times (T_b(h) - T_e(h))$$

L'équation suivante sur $T_e(h)$ est obtenue :

$$T_e(h) = D \times T_b(h) + E \quad (17)$$

Avec

$$D = \frac{-U_e \times L_{e,retour} - U_i \times L_{i,retour} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w}{U_e \times L_{e,retour} + U_i \times L_{i,retour} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w} \quad (18)$$

$$E = \frac{2 \times (U_e \times L_{e,retour} \times T_{ext}(h) + U_i \times L_{i,retour} \times T_{amb_sol})}{U_e \times L_{e,retour} + U_i \times L_{i,retour} + 2 \times deb_{sol}(h) \times C_w \times \rho_w} \quad (19)$$

1.3. Gestion/régulation de la boucle solaire

Une fois les températures déterminées, on peut appliquer les conditions de gestion/régulation de la boucle solaire.

La boucle solaire démarre lorsque la température du ballon est inférieure à la température maximale du ballon qui est de 85°C (θ_{b_max} paramétrable), que la température à la sortie des capteurs ne dépasse pas 95°C ($\theta_{max_capteurs}$ paramétrable) et que la température des capteurs est de 15 °C ($\theta_{regul_solaire}$ paramétrable) supérieure à la température du reflux solaire c'est-à-dire la température du bas du ballon $T_1(Nb_iter)$.

Si $[T_3(Nb_iter) < \theta_{b_max}]$ ET $[T_b(h) < \theta_{max_capteurs}]$ ET $[T_b(h) - T_1(Nb_iter) \geq \theta_{regul_solaire}]$ alors :

$$marche_{sol}(h) = 1 \quad (20)$$

Sinon :

$$marche_{sol}(h) = 0 \quad (21)$$

Les deux pompes solaires se mettent en route durant un temps prédéfini à la mise en service ($t_{mise_en_service}$ paramétrable) puis la pompe n°2 s'arrête.

La pompe n°1 fonctionne alors seule et module en puissance en fonction de la différence de température départ – retour de la boucle solaire ($T_1(Nb_iter) - T_e(h)$).

Si la température des capteurs dépasse 70°C ($\theta_{relance_pompe}$ paramétrable), la fonction booster s'enclenche et les deux pompes fonctionnent alors à 100% de puissance afin d'éviter toute ébullition éventuelle dans les capteurs.

Si la température en sortie des capteurs dépasse 95°C, la boucle solaire s'arrête. Si la température du ballon atteint 85°C, la boucle solaire s'arrête. Si la différence de température entre la sortie des capteurs et le départ de la boucle solaire n'est plus suffisante et inférieure ou égal à 2°C (θ_{stop_boucle} paramétrable), la boucle solaire s'arrête.

Lors de l'arrêt de la boucle solaire, le fluide caloporteur descend par gravité dans le ballon, ce qui protège l'ensemble de la boucle solaire du gel et permet de ne pas utiliser d'autre fluide caloporteur que l'eau du ballon.

2. CONSOMMATION ELECTRIQUE DES AUXILIAIRES DU MODULE

La consommation des auxiliaires de la boucle solaire va dépendre du temps de fonctionnement des deux pompes solaires sachant que lorsque les deux sont en fonctionnement, elles fonctionnent à leur puissance nominale. Lorsqu'il n'y a qu'une pompe en fonctionnement,

celle-ci est à débit variable et module en puissance en fonction de la différence de température départ – retour de la boucle solaire ($T_1(Nb_iter) - T_e(h)$).

Sachant ces indications concernant la consommation des pompes, le temps de fonctionnement de chacune des deux pompes est défini.

Si $marche_{sol}(h-1) = 0$ alors

$$t_{fonc_pompe_princ}(h) = marche_{sol}(h) \quad (22)$$

$$t_{fonc_pompe_sec}(h) = \frac{t_{mise_en_service}}{60} \times marche_{sol}(h) \quad (23)$$

Si $marche_{sol}(h-1) = 1$ alors

$$t_{fonc_pompe_princ}(h) = marche_{sol}(h) \quad (24)$$

$$t_{fonc_pompe_sec}(h) = 0 \quad (25)$$

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

$$W_{pompe_princ}(h) = \max(Mod_{circ_sol}(h) \times P_{p_solaire_max} ; P_{p_solaire_min}) \quad (26)$$

$$Mod_{circ_sol}(h) = marche_{sol}(h) \times \left(\frac{deb_{sol}(h)}{deb_{sol_nom}} \right)^{2/3} \quad (27)$$

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

$$W_{pompe_sec}(h) = P_{p_solaire_max} \quad (28)$$

Pour l'ensemble des auxiliaires de la boucle solaire :

$$W_{aux_boucle_solaire}(h) = W_{pompe_princ}(h) \times t_{fonc_pompe_princ}(h) + W_{pompe_sec}(h) \times t_{fonc_pompe_sec}(h) \quad (29)$$

3. PERTES DE LA BOUCLE SOLAIRE EN VOLUME CHAUFFE

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

$$\phi_{vc}^{BS}(h) = \max \left(\begin{array}{l} U_i \times L_{i,aller} \times \left(\frac{T_1(Nb_iter) + T_d(h)}{2} - T_{amb_sol} \right) \\ + U_i \times L_{i,retour} \times \left(\frac{T_c(h) + T_e(h)}{2} - T_{amb_sol} \right) ; 0 \end{array} \right) \quad (30)$$