

AMÉNAGEMENT NATURE, LOGEMENT

MINISTÈRE DU LOGEMENT
ET DE L'HABITAT DURABLE

Arrêté du 4 novembre 2016 modifiant les modalités de prise en compte des boucles d'eau et des systèmes solaires thermiques dans la réglementation thermique 2012 (JORF n° 0267 du 17 novembre 2016)

NOR : LHAL1625315A

Publics concernés : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, constructeurs et promoteurs, architectes, bureaux d'études thermiques, contrôleurs techniques, diagnostiqueurs, organismes de certification, entreprises du bâtiment, industriels des matériaux de construction et des systèmes techniques du bâtiment, fournisseurs d'énergie.

Objet : amélioration de la méthode de prise en compte des boucles d'eau et des systèmes solaires thermiques dans la réglementation thermique.

Entrée en vigueur : les dispositions prises par cet arrêté sont applicables à compter du lendemain de la date de publication.

Références : le présent arrêté peut être consulté sur le site Légifrance (<http://www.legifrance.gouv.fr>).

La ministre de l'environnement, de l'énergie et de la mer, chargée des relations internationales sur le climat, et la ministre du logement et de l'habitat durable,

Vu la directive 2010/31/UE du Parlement européen et du Conseil en date du 19 mai 2010 sur la performance énergétique des bâtiments (refonte);

Vu le code de la construction et de l'habitation, notamment ses articles L. 111-9 et R. 111-20;

Vu l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments;

Vu l'arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions;

Vu l'arrêté du 30 avril 2013 portant approbation de la méthode de calcul Th-B-C-E prévue aux articles 4, 5 et 6 de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments;

Vu l'arrêté du 11 décembre 2014 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique applicables aux bâtiments nouveaux et aux parties nouvelles de bâtiment de petite surface et diverses simplifications;

Vu l'arrêté du 19 décembre 2014 modifiant les modalités de validation d'une démarche qualité pour le contrôle de l'étanchéité à l'air par un constructeur de maisons individuelles ou de logements collectifs et relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique applicables aux bâtiments collectifs nouveaux et aux parties nouvelles de bâtiment collectif,

Arrêtent:

Art. 1^{er}. – L'annexe de l'arrêté du 30 avril 2013 susvisé est modifiée comme explicité en annexe (1) du présent arrêté.

Art. 2. – Le directeur de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages et le directeur général de l'énergie et du climat sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 4 novembre 2016.

*La ministre du logement
et de l'habitat durable,*
Pour la ministre et par délégation :
*Le directeur de l'habitat,
de l'urbanisme et des paysages,*
L. GIROMETTI

*La ministre de l'environnement,
de l'énergie et de la mer,
chargée des relations internationales
sur le climat,*
Pour la ministre et par délégation :

*Le directeur de l'habitat,
de l'urbanisme et des paysages,*
L. GIROMETTI

*Le directeur général
de l'énergie et du climat,*
L. MICHEL

(1) L'annexe du présent arrêté sera publiée au *Bulletin officiel* du ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer et du ministère du logement et de l'habitat durable.

A N N E X E

Modifications de l'annexe de l'arrêté du 30 avril 2013 portant approbation de la méthode de calcul Th-B-C-E prévue aux articles 4, 5 et 6 de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments

1° Le paragraphe « 10.13 C_Gen_Transfert Entre Generateurs Sur Boucle D'eau » est remplacé par :

10.13 C Gen Transfert Entre Generateurs Sur Boucle D'eau

10.13.1 DEFINITION DU SYSTEME

Certains systèmes de traitement des ambiances permettent des transferts d'énergie entre des locaux dans des situations thermiques différentes. Il peut y avoir transfert d'énergie entre des locaux en demande de froid et d'autres en demande de chaud via le système, ce qui permet de réduire la demande aux générateurs.

On vise ici les PAC sur boucle d'eau.

Les pompes à chaleurs sont traitées comme des groupes frigorifiques eau / air.

La boucle d'eau, elle, assure les transferts entre PAC de groupes différents et ainsi reçoit les rejets thermiques des pompes à chaleur en mode froid et fournit de chaleur aux machines en mode chaud. Elle est reliée à une ou plusieurs source(s) de chaleur (chaudière ou tout autre générateur sur vecteur eau) et à une ou plusieurs source(s) de froid (tour de refroidissement ou tout autre générateur de froid sur vecteur eau).

10.13.2 NOMENCLATURE

Entrées du composant

	Nom	Description	Unité
Env. ext.	$\theta_{ext}(h)$	Température de l'air extérieur.	°C
	$\omega_{ext}(h)$	Humidité spécifique de l'air extérieur	kg/kg as
G/R de la génération	$Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de chauffage au niveau de la génération <i>gen</i> pour le groupe <i>gr</i> .	Wh
	$Q_{req,fr}^{gen,gr}(h)$	Demande en énergie de refroidissement au niveau de la génération <i>gen</i> pour le groupe <i>gr</i> .	Wh
Report d'énergie	$Q_{rep,ch}(h-1)$	Demande en énergie totale de chaud de la génération reportée au pas de temps h.	Wh
	$Q_{rep,fr}(h-1)$	Demande en énergie totale de froid de la génération reportée au pas de temps h.	Wh
	$Q_{rep,BE,ch}^{gr}(h-1)$	Energie en chauffage reportée du pas de temps précédent.	Wh
	$Q_{rep,BE,fr}^{gr}(h-1)$	Energie en refroidissement reportée du pas de temps précédent.	Wh

Det. des saisons syst.	$Aut_{ch}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en chauffage.	Bool
	$Aut_{fr}(j)$	Indicateur de saison de fonctionnement de la génération en refroidissement.	Bool
Températures fonctionnement	$\theta_{aval_ch}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en chauffage.	°C
	$\theta_{aval_fr}(h)$	Température de fonctionnement définie au niveau de la gestion/régulation de la génération en refroidissement.	°C
Sour. amont	$\theta_{be}(j)$	Température de l'eau dans la boucle le jour j.	°C
	$\theta_{amont}^{gnr}(h)$	Température amont des générateurs thermodynamiques <i>gnr</i> correspondant à la température mensuelle de la boucle d'eau.	°C

Paramètres intrinsèques

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
Chaudière	R_{eff_trBE}	Ratio d'efficacité du transfert d'énergie (conventionnel).	-	0	1	0.8
	P_{ngen_ch}	Puissance fournie nominale du générateur en chauffage et ECS.	W	0	$+\infty$	-
	P_{ngen_fr}	Puissance fournie nominale du générateur en refroidissement.	W	0	$+\infty$	-
	P_{ngen}	Puissance utile nominale de la chaudière.	kW	0	$+\infty$	-
	$\theta_{max_rech_BE}$	Température de fonctionnement maximale de chauffage de la boucle d'eau.	°C	20	100	
Tour de refroidissement sur la boucle	$\theta_{min_fr_BE}$	Température de fonctionnement minimale de refroidissement de la boucle d'eau.	°C			
	id_{tour}	Type de tour de refroidissement : 0 : Autre, 1 : Tour humide, 2 : Tour sèche.	Ent	0	2	-
	$q_{v,nom,tour}$	Débit nominal d'eau à refroidir circulant dans la tour sèche ou humide (paramètre de dimensionnement).	m ³ /h	0	$+\infty$	-
	P_{pompes_tour}	Puissance électrique des pompes du circuit de la tour de refroidissement.	W	0	$+\infty$	-
	P_{vent_tour}	Puissance électrique des ventilateurs de la tour.	W	0	$+\infty$	-
	$\Delta\theta_{tour}$	1) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour humide et la température humide de l'air	°C	0	$+\infty$	

extérieur.

2) Ecart de température entre l'eau en sortie de tour sèche et la température de l'air extérieur.

$\theta_{es\ tour\ consigne}$ Consigne de température d'eau en sortie de tour. °C -∞ +∞ -

Paramètres d'intégration

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$N_{pbe}^{gnr,gr}$	Nombre de générateurs thermodynamiques identiques sur la BE et appartenant au groupe gr.	-	1	+∞	-

Variables internes

Nom	Description	Unité
$\theta_{aval_chaud_BE}(h)$	Température de fonctionnement du générateur de chaud associé à la boucle d'eau.	°C
$\theta_{aval_froid_BE}(h)$	Température de fonctionnement du générateur de froid associé à la boucle d'eau.	°C
$\Phi_{rejet}^{gnr}(h)$	Puissance rejetée par le générateur thermodynamique <i>gnr</i> (valeur positive en refroidissement et négative en chauffage).	W
$Q_{req_BE_ch}^{gr}(h)$	Demande totale en chauffage sur les générateurs thermodynamiques de la boucle d'eau pour le groupe <i>gr</i> .	Wh
$Q_{req_BE_fr}^{gr}(h)$	Demande totale en froid sur les générateurs thermodynamiques de la boucle d'eau pour le groupe <i>gr</i> .	Wh
$\Phi_{rejet_totBE_ch}(h)$	Rejet de froid total des PAC en mode chauffage sur la boucle d'eau.	W
$\Phi_{rejet_totBE_froid}(h)$	Rejet de chaleur total des PAC en mode refroidissement sur la boucle d'eau.	W
$Q_{sys_BE_ch}(h)$	Demande en énergie de chauffage transmise aux générateurs qui desservent la boucle d'eau.	Wh
$Q_{sys_BE_fr}(h)$	Demande en énergie de refroidissement transmise aux générateurs qui desservent la boucle d'eau.	Wh
$P_{ngen_tot_ch}^{gr}$	Puissance nominale totale en chauffage des PAC sur boucle d'eau pour le groupe <i>gr</i> .	Réel
$P_{ngen_tot_fr}^{gr}$	Puissance nominale totale en refroidissement des PAC sur boucle d'eau pour le groupe <i>gr</i> .	Réel
$Rat_{pngen_ch}^{gnr,gr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs sur boucle d'eau, au prorata de leurs puissances nominales en chauffage, pour le groupe <i>gr</i> .	Réel
$Rat_{pngen_fr}^{gnr,gr}$	Ratio de répartition des charges sur les différents générateurs sur boucle d'eau, au prorata de leurs puissances nominales en refroidissement, pour le groupe <i>gr</i> .	Réel

Gestion des générateurs
thermodynamiques sur BE

Tour de refroidissement	θ_{es_tour}	Température d'eau en sortie de tour	°C
	W_{pompes_tour}	Consommation électrique des pompes du circuit de refroidissement	Wh
	P_{max}	Puissance maximale de froid que peut fournir la tour dans les conditions du pas de temps actuel.	W
	W_{vent_tour}	Consommation électrique des ventilateurs de la tour.	Wh

Sorties

	Nom	Description	Unité
Report d'énergie	$Q_{rep_ch}(h)$	Demande en énergie totale de chaud de la génération reportée au pas de temps h+1.	Wh
	$Q_{rep_fr}(h)$	Demande en énergie totale de froid de la génération reportée au pas de temps h+1.	Wh
	$Q_{rep_BE_ch}^{gr}(h)$	Energie restant à fournir pour les générateurs thermodynamiques sur boucle d'eau (reportée au pas de temps suivant).	Wh
	$Q_{rep_BE_fr}^{gr}(h)$	Energie reprise pour les générateurs thermodynamiques sur boucle d'eau au pas de temps suivant.	Wh
	$\{Q_{ceff(po.:en)}^{gr}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale du générateur <i>gr</i> .	Wh
Calculs génération	$\{Q_{ceff(po.:en)}^{gen}(h)\}$	Matrice des consommations horaires en énergie finale de la génération.	Wh
	$Q_{cons}^{gr}(h)$	Energie consommée hors auxiliaires du générateur <i>gr</i> .	Wh
	$Q_{fou_ch}^{gr}(h)$, $Q_{fou_fr}^{gr}(h)$, $Q_{fou_ecs}^{gr}(h)$	Energies fournies par le générateur <i>gr</i> par poste au pas de temps h.	Wh
	$Q_{prelec}^{gr}(h)$	Energie électrique produite par le générateur <i>gr</i> au pas de temps h.	Wh
	$W_{aux}^{gr}(h)$	Consommation électrique globale des auxiliaires du générateur <i>gr</i> .	Wh
Données par générateur	$W_{aux,pro}^{gr}(h)$	Consommation électrique des auxiliaires propres au générateur <i>gr</i> .	Wh
	$\tau_{charge}^{gr}(h)$	Taux de charge du générateur <i>gr</i> .	Réel
	$\Phi_{vc}^{gr}(h)$	Pertes thermiques du générateur <i>gr</i> vers l'ambiance.	Wh
	$\eta_{eff_ch}^{gr}(h)$	COP, EER ou rendement du générateur en chauffage.	Réel

$\eta_{eff,fr}^{gr}(h)$ COP, EER ou rendement du générateur en refroidissement. Réel

Constantes

Nom	Description	Unité	Conv.
C_v	Chaleur massique de la vapeur d'eau	J/kgK	1830
C_{pe}	Chaleur massique de l'eau	J/kgK	4180
ρ_{eau}	Masse volumique de l'eau	kg/m ³	1000
C_a	Chaleur massique de l'air	J/kgK	1006
H_{fg}	Chaleur latente de vaporisation de l'eau	J/kgK	$25 \cdot 10^5$

Tableau 104 : Nomenclature du modèle

10.13.3 DESCRIPTION MATHÉMATIQUE

10.13.3.1 Description d'une boucle d'eau et ses composants

Une boucle d'eau est décrite sous la forme d'une génération, comprenant :

- au moins un générateur de type générateur thermodynamique sur boucle d'eau ($id_{type}=507$),
- une source amont de type boucle d'eau ($id_{fluide-amont}^{gr}=1$ et $id_{amont-eau-type}^{gr}=3$),
- Au moins un générateur de chauffage ($id_{fougen} = 1$ et $id_{type} \neq 507$) et/ou au moins un générateur de froid ($id_{fougen} = 2$ et $id_{type} \neq 507$)

Note : la tour de refroidissement est intégrée dans la source amont boucle d'eau et non dans la génération comme les générateurs de froid assurant le refroidissement de la boucle. Il ne s'agit pas d'un composant à part entière. Il sera cependant renseigné dans la source amont si la source de froid est une tour de refroidissement ($Id_{tour} = 1$ ou 2), ou si la source de froid est un autre générateur de froid ($Id_{tour} = 0$).

Tout assemblage ne décrivant que de manière incomplète la boucle d'eau (non-respect de la liste de composant ci-dessus) est considéré comme non-valide.

Dans la suite de la fiche, on notera G_{BE} l'ensemble des X générateurs thermodynamiques sur la boucle d'eau décrit au sein de la génération *gen*.

Chaque composant générateur de cet ensemble est associé à un des groupes desservis par la boucle (lien d'interface).

La somme de tous les ensembles de générateur identiques pour un groupe donné forme l'ensemble G_{BE}^{gr} . Selon les valeurs de $Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$ et $Q_{req,fr}^{gen,gr}(h)$, on connaît l'état (fonctionnement en chaud, en froid ou générateur à l'arrêt) des générateurs de G_{BE}^{gr} .

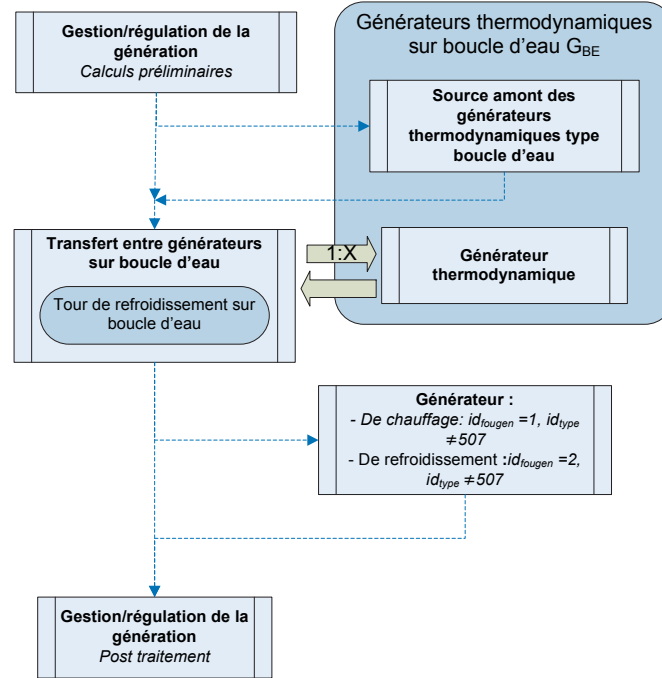


Figure 1: Séquence d'appel des composants pour la modélisation d'une boucle d'eau - Description algorithmique

10.3.3.1.1 Description des PAC sur boucle d'eau par groupe

En début de simulation, on initialise des clés de répartition entre générateurs pour le poste chauffage et le poste refroidissement :

$$\begin{cases} P_{ngen_tot_ch}^{gr} = \sum_{gr \in G_{BE}} N_{pbe}^{gr,gr} \cdot P_{ngen_ch}^{gr} \\ P_{ngen_tot_fr}^{gr} = \sum_{gr \in G_{BE}} N_{pbe}^{gr,gr} \cdot P_{ngen_fr}^{gr} \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Rat_{pngen_ch}^{gr,gr} = \frac{N_{pbe}^{gr,gr} \cdot P_{ngen_ch}^{gr}}{P_{ngen_tot_ch}^{gr}} \\ Rat_{pngen_fr}^{gr,gr} = \frac{N_{pbe}^{gr,gr} \cdot P_{ngen_fr}^{gr}}{P_{ngen_tot_fr}^{gr}} \end{cases} \quad (2)$$

10.3.3.1.2 Traitement des PAC sur la boucle d'eau par groupe

Chaque groupe est associé à une demande de chauffage ou une demande de refroidissement, calculée dans « C_{Gen} Gestion/régulation de la génération ». Un premier traitement a lieu par groupe de PAC sur boucle d'eau d'un même groupe gr , selon les besoins et l'état des saisons de ce groupe.

Pour chaque groupe gr associé à une même génération de type boucle d'eau, on applique l'algorithme suivant :

Groupe en mi-saison : $Aut_{fr}(j) \neq 1$ et $Aut_{ch}(j) \neq 1$

Les générateurs sont désactivés pour le poste considéré.

Groupe en demande de refroidissement, ou sans besoins et hors saison de chauffage: $Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) > 0$

ou $Aut_{ch}(j) \neq 1$ (avec $Aut_{fr}(j) = 1$)

Les PAC sur boucle d'eau du groupe gr fonctionnent en mode refroidissement, à charge nulle ou non-nulle.

$$id_{fonction} = 2 \quad (3)$$

$$Q_{req_BE_fr}^{gr}(h) = Q_{req,fr}^{gen,gr}(h) + Q_{rep_BE_fr}^{gr}(h) \quad (4)$$

$$Q_{rep_BE_fr}^{gr}(h) = 0$$

$$\text{DEBUT DE LA BOUCLE : générateur } gr \in G_{BE}^{gr} \quad (5)$$

Charge du générateur

$$Q_{req} = \frac{Rat_{pngen_fr}^{gr,gr}}{\sum_{gr^* \in G_{BE}^{gr}} Rat_{pngen_fr}^{gr^*,gr}} \times Q_{req_BE_fr}^{gr}(h)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Indicateur de refroidissement :

$$\text{Si } Q_{req} > 0, \text{ alors, } i_{a_refroidi}^{gr}(h) = 1$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(2;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gr}(h) \\ \theta_{aval_fr}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(2;enr)}^{gr}(h)\} += \{Q_{cef(2;enr)}\} & \phi_{rejet}^{gr}(h) += \phi_{rejet} \\ Q_{cons}^{gr}(h) += Q_{cons} & \phi_{vc}^{gr}(h) += \phi_{vc} \\ Q_{fou_fr}^{gr}(h) = Q_{fou} & W_{aux,pro}^{gr}(h) += W_{aux,pro} \\ Q_{prelec}^{gr}(h) += Q_{prelec} & W_{aux}^{gr}(h) += W_{aux,pro} \\ \tau_{charge}^{gr}(h) += R_{pui_dispo} \cdot \tau_{charge} & \eta_{eff_fr}^{gr}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Ajout du surplus de demande à l'énergie reportée

$$Q_{rep_BE_fr}^{gr}(h) += Q_{rest}$$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{BE}^{gr}$
ou FIN DE LA BOUCLE

Groupe en demande de chauffage, ou sans besoins et en saison de chauffage: $Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) > 0$

ou $Aut_{ch}(j) = 1$ (avec $Aut_{fr}(j) \neq 1$ ou $Aut_{fr}(j) = 1$)

Les PAC sur boucle d'eau du groupe gr fonctionnent en mode chauffage, à charge nulle ou non-nulle.

$$id_{fonction} = 1 \quad (6)$$

$$Q_{req_BE_ch}^{gr}(h) = Q_{req,ch}^{gen,gr}(h) + Q_{rep_BE_ch}^{gr}(h) \quad (7)$$

$$Q_{rep_BE_ch}^{gr}(h) = 0$$

$$\text{DEBUT DE LA BOUCLE : générateur } gnr \in G_{BE}^{gr} \quad (8)$$

Charge du générateur

$$Q_{req} = \frac{Rat_{pngen_fr}^{gnr}}{\sum_{gnr' \in G_{BE}^{gr}} Rat_{pngen_fr}^{gnr'}} \times Q_{req,ch}^{gen,gr}(h)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(1,enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGénérateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval_ch}^{gnr}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\left\{ \begin{array}{l} \{Q_{cef(1, enr)}^{gnr}(h)\}^+ = \{Q_{cef(1, enr)}\} \\ Q_{cons}^{gnr}(h)^+ = Q_{cons} \\ Q_{fou_ch}^{gnr}(h) = Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h)^+ = Q_{prelec} \\ \tau_{ch\ arg\ e}^{gnr}(h)^+ = R_{pui_dispo} \cdot \tau_{ch\ arg\ e} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} \phi_{rejet}^{gnr}(h)^+ = \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h)^+ = \phi_{vc} \\ W_{aux, pro}^{gnr}(h)^+ = W_{aux, pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h)^+ = W_{aux, pro} \\ \eta_{eff_ch}^{gnr}(h) = \eta_{eff} \end{array} \right.$$

Ajout du surplus de demande à l'énergie reportée

$$Q_{rep_BE_ch}^{gr}(h)^+ = Q_{rest}$$

GENERATEUR SUIVANT : générateur $gnr' \in G_{BE}^{gr}$
ou FIN DE LA BOUCLE

10.3.3.2 Bilan énergétique de la boucle d'eau

La première étape du calcul consiste à analyser les rejets chaud et froid des différents générateurs thermodynamiques sur la boucle.

$$\phi_{rejet_totBE_ch}(h) = \sum_{gnr \in G_{BE}} MIN(0; \phi_{rejet}^{gnr}(h)) \quad (9)$$

$$\phi_{rejet_totBE_fr}(h) = \sum_{gnr \in G_{BE}} MAX(0; \phi_{rejet}^{gnr}(h)) \quad (10)$$

La quantité d'énergie totale transférée sur la boucle est la suivante :

$$Q_{transfert_BE}(h) = MIN(\phi_{rejet_totBE_ch}(h); \phi_{rejet_totBE_fr}(h)) \times R_{eff_trBE} \quad (11)$$

Conventionnellement, l'efficacité du transfert R_{eff_trBE} est fixée à 0.8.

Les puissances à fournir par les équipements de la boucle sont alors égales à :

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{sys_BE_ch}(h) = \phi_{rejet_totBE_ch}(h) - Q_{transfert_BE}(h) \\ Q_{sys_BE_fr}(h) = \phi_{rejet_totBE_fr}(h) - Q_{transfert_BE}(h) \end{array} \right. \quad (12)$$

10.3.3.3 Chauffage et refroidissement de la boucle d'eau

Le refroidissement de la boucle peut être assuré par tous les générateurs de froid de la méthode Th-BCE dont l'idtype est différent de 507 et dont le fluide aval est de l'eau :

- PAC à compression électrique ou gaz eau/eau, PAC à compression électrique air/eau, PAC à compression électrique eau de nappe/eau : idtype=503
- Thermofrigopompe : idtype = 508
- PAC à absorption gaz, air/eau ou eau/eau : idtype=504
- Réseau de froid : idtype = 601
- Tout système générateur de froid intégré en tant que Titre V dont le fluide aval est l'eau

Le refroidissement de la boucle peut aussi être assuré par une tour de refroidissement, modélisée déjà modélisée dans la partie source amont de la boucle d'eau.

Le chauffage de la boucle peut être assuré par tous les générateurs de chaleur de la méthode Th-BCE dont l'idtype est différent de 507 et dont le fluide aval est de l'eau :

- Chaudière standard au gaz : idtype = 100

- Chaudière basse température au gaz : idtype = 101
- Chaudière à condensation au gaz : idtype = 102
- Chaudière standard au fioul : idtype = 200
- Chaudière à condensation au fioul : idtype = 201
- Chaudière au bois : idtype = 400
- PAC à compression électrique eau/eau, PAC à compression électrique air/eau, PAC à compression électrique eau de nappe/eau : idtype=503
- PAC à absorption gaz, air/eau ou eau/eau : idtype=504
- Thermofrigopompe : idtype = 508
- Réseau de chaleur : idtype = 600
- Système de cogénération : idtype = 700
- Tout système générateur de chaud intégré en tant que Titre V dont le fluide aval est l'eau

10.3.3.3.1 Description du générateur de chauffage de la boucle d'eau

La description du (ou des) générateur(s) de chauffage de la boucle est réalisée par introduction dans la génération d'un générateur de chauffage autre qu'une PAC sur boucle d'eau ($id_{fougen} = 1$ **et** $idtype \neq 507$). Ce générateur est décrit sous la forme d'un composant à part entière créée au niveau de la génération.

La première étape est le calcul de la température de fonctionnement (aval) du générateur de chauffage sur boucle d'eau. A défaut d'informations sur le type et le dimensionnement de la boucle d'eau, on l'estime sur la base de la température de boucle d'eau au jour considéré, en considérant qu'elle obéit à une loi de proportionnalité par rapport la charge **du générateur** (la référence étant P_{ngen}).

$$\theta_{aval_chaudBE}(h) = \text{MIN} \left[\theta_{\max_rech_BE}; \theta_{be}(j) + \frac{Q_{sys_BE_ch}(h) + Q_{rep_ch}(h-1)}{P_{ngen}} \times (\theta_{\max_rech_BE} - \theta_{be}(j)) \right] \quad (13)$$

L'algorithme d'appel de ce générateur est le suivant :

$$id_{fonction} = 1 \quad (14)$$

- **Hors saison de fonctionnement** : $Aut_{ch}(j) \neq 1$
Le générateur est désactivé pour le poste considéré.
- **En saison de fonctionnement** : $Aut_{ch}(j) = 1$

Soit le générateur gnr de chauffage de la boucle d'eau : (15)

Charge du générateur

$$Q_{req} = Q_{sys_BE_ch}(h) + Q_{rep_ch}(h-1)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui_dispo} = 1$$

Appel du générateur

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \phi_{vc} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ Q_{prelec} \\ \phi_{rejet} \end{bmatrix} = AppelGenerateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval_chaudBE}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui_dispo} \end{bmatrix}$$

Mise à jour du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement du générateur

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(1;enr)}^{gnr}(h)\} += \{Q_{cef(1;enr)}\} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) += Q_{cons} \\ Q_{fou_ch}^{gnr}(h) = Q_{fou} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) += Q_{prelec} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) += R_{pui_dispo} \cdot \tau_{charge} \end{cases} \begin{cases} \phi_{rejet}^{gnr}(h) += \phi_{rejet} \\ \phi_{vc}^{gnr}(h) += \phi_{vc} \\ W_{aux,pro}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ W_{aux}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ \eta_{eff_ch}^{gnr}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de chauffage)

$$Q_{rep_ch}(h) = Q_{rest}$$

10.3.3.2 Description du générateur de froid de la boucle d'eau

La description du (ou des) générateur(s) de refroidissement de la boucle est réalisée par introduction dans la génération d'un générateur de refroidissement autre qu'une PAC sur boucle d'eau ($id_{fougen} = 2$ et $idtype \neq 507$) ou bien par une tour de refroidissement. Ce générateur est décrit sous la forme d'un composant à part entière créée au niveau de la génération, sauf pour la tour de refroidissement qui n'est pas un générateur à part entière et qui est décrit dans la source amont.

3.1.1.1 Composant tour de refroidissement

La tour de refroidissement obéit à la description d'un générateur standard, avec un jeu de données de sortie standard. La description de ses caractéristiques se fait dans l'objet source amont.

La modélisation du comportement de la tour est basée sur un calcul horaire de la température d'eau en sortie de la tour θ_{es_tour} . On fait l'hypothèse qu'en sortie de la tour de refroidissement l'eau a atteint à un écart de $\Delta\theta_{tour}$ près la température extérieure (tour sèche : $id_{tour} = 2$) ou la température humide de l'air en sortie de la tour (tour humide : $id_{tour} = 1$).

Si la source de refroidissement de la boucle d'eau n'est pas une tour de refroidissement, on a : $id_{tour} = 0$: Autre. Dans ce cas, la source de froid est un générateur de froid $idtype \neq 507$.

L'algorithme de calcul de θ_{es_tour} est celui décrit dans la fiche « C_Gen_Sources amont des générateurs thermodynamiques ».

Une fois cette étape réalisée, on détermine la consommation d'énergie de la tour de refroidissement par l'algorithme suivant :

- **Hors saison de fonctionnement :** $Aut_{jr}(j) \neq 1$

La tour de refroidissement est désactivée pour le poste considéré.

- **En saison de fonctionnement :** $Aut_{fr}(j) = 1$

La puissance maximale de refroidissement pouvant être fournie par la tour de refroidissement est calculée en considérant que l'eau pénètre par un piquage dans la tour à la température moyenne d'eau de la boucle d'eau $\theta_{amont}(h)$ et en ressort à la température θ_{es_tour} . Le débit est supposé égal au débit nominal $q_{v,nom,tour}$. Etant donné la plage de température d'eau au cours de ce processus d'échange, la masse volumique de l'eau est considérée constante.

Charge de la tour de refroidissement

$$\begin{aligned} Q_{req} &= Q_{sys_BE_fr}(h) + Q_{rep_fr}(h-1) \\ Q_{rest} &= 0 \end{aligned} \quad (16)$$

On caractérise la tour de refroidissement à la manière d'un générateur :

Description des performances de la tour de refroidissement

$$\begin{aligned} P_{max} &= q_{v,nom,tour} \cdot \rho_{eau} \cdot C_{pe} \cdot MAX(0; \theta_{amont}^{SA}(h) - \theta_{es_tour}) \\ Q_{fou} &= MIN(Q_{req}; P_{max}) \end{aligned}$$

$$\tau_{charge} = \frac{Q_{fou}}{P_{max}}$$

$$Q_{rest} = Q_{req} - Q_{fou}$$

Consommation de la tour de refroidissement

$$\begin{cases} W_{pompes_tour} = P_{pompes_tour} \times \tau_{charge} \\ W_{vent_tour} = P_{vent_tour} \times \tau_{charge} \end{cases} \quad (17)$$

$$Q_{cons} = W_{pompes_tour} + W_{vent_tour}$$

Remplissage de la matrice des consommations de la tour de refroidissement

$$Q_{cef(2;5)} = Q_{cons}$$

On définit ensuite le jeu de données de sortie de la tour à la manière d'un générateur :

Définition du jeu de données horaires décrivant le fonctionnement de la tour de refroidissement :

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(2;enr)}^{gnr}(h)\} = \{Q_{cef(2;enr)}\} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) = Q_{cons} \\ Q_{fou_fr}^{gnr}(h) = Q_{fou} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) = \tau_{charge} \end{cases} \quad (18)$$

Note : l'ensemble des autres données de description du fonctionnement ne concernent pas la tour de refroidissement et sont maintenues nulles tout le long de la simulation.

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de chauffage)

$$Q_{rep_fr}(h) = Q_{rest}$$

10.3.3.2.1 Composant générateur de froid autre

La première étape est le calcul de la température de fonctionnement (aval) du (ou des) générateur(s) de refroidissement sur boucle d'eau. A défaut d'informations sur le type et le dimensionnement de la boucle d'eau, on l'estime sur la base de la température de boucle d'eau au jour considéré, en considérant qu'elle obéit à une loi de proportionnalité par rapport la charge du générateur (la référence étant Pngen).

Dans ce cas, dans la source amont, on a : $id_{tour} = 0$: Autre, et le générateur de froid pris en compte est le générateur de froid dont $id_{type} \neq 507$.

$$\theta_{aval_froidBE}(h) = \text{MIN} \left[\theta_{\min_fr_BE}; \theta_{be}(j) + \frac{Q_{sys_BE_fr}(h) + Q_{rep_fr}(h-1)}{P_{ngen}} \times (\theta_{\min_fr_BE} - \theta_{be}(j)) \right] \quad (19)$$

L'algorithme d'appel de ce générateur est le suivant :

$$id_{fonction} = 2 \quad (20)$$

- Hors saison de fonctionnement : $Aut_{fr}(j) \neq 1$
Le générateur est désactivé pour le poste considéré.
- En saison de fonctionnement : $Aut_{fr}(j) = 1$

Soit le générateur *gnr* de refroidissement de la boucle d'eau : (21)

Charge du générateur

$$Q_{req} = Q_{sys_BE_fr}(h) + Q_{rep_fr}(h-1)$$

$$Q_{rest} = 0$$

Calcul du ratio de puissance disponible

$$R_{pui_dispo} = 1$$

Appel du générateur (les sorties du générateur en question $id_{type} \neq 507$ sont reprises)

$$\begin{bmatrix} \{Q_{cef(po,en)}\} \\ Q_{cons} \\ Q_{fou} \\ \tau_{charge} \\ \dots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dots \\ W_{aux,pro} \\ Q_{rest} \\ \eta_{eff} \\ \phi_{vc} \end{bmatrix} = AppelGénérateur \begin{bmatrix} \theta_{amont}^{gnr}(h) \\ \theta_{aval_frBE}(h) \\ Q_{req} \\ i_{fonction} \\ R_{pui_dispo} \end{bmatrix}$$

Note : le symbole « += » est à comprendre par « le terme de droite est ajouté au terme de gauche ».

$$\begin{cases} \{Q_{cef(1;enr)}^{gnr}(h)\} += \{Q_{cef(1;enr)}\} & \phi_{rejet}^{gnr}(h) += \phi_{rejet} \\ Q_{cons}^{gnr}(h) += Q_{cons} & \phi_{vc}^{gnr}(h) += \phi_{vc} \\ Q_{fou_ch}^{gnr}(h) = Q_{fou} & W_{aux,pro}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ Q_{prelec}^{gnr}(h) += Q_{prelec} & W_{aux}^{gnr}(h) += W_{aux,pro} \\ \tau_{charge}^{gnr}(h) += R_{pui_dispo} \cdot \tau_{charge} & \eta_{eff_ch}^{gnr}(h) = \eta_{eff} \end{cases}$$

Calcul horaire de l'énergie reportée (qui correspond à l'énergie restant à fournir par le générateur de refroidissement)

$$Q_{rep_fr}(h) = Q_{rest}$$

2° Le paragraphe « 11.14.2 Nomenclature » est modifié comme suit :

- Les paramètres intrinsèques $\Delta\theta_{reg}$ et mC_p deviennent des « constantes » :

Constantes

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$\Delta\theta_{reg}$	Valeur de réglage de la régulation	K	0	$+\infty$	1 ou 3 K
mC_p	Débit calorifique de la boucle	W/K	0	$+\infty$	58*A

- Le paramètre d'intégration suivant est ajouté :

Paramètres d'intégration du composant

Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv.
$Usage_Zone$ e	Usage de la zone	Enum	1	38	-

3° Le paragraphe « 11.14.3.2.1 Régulateur basé sur la température (type_régl_BS=0) » est remplacé par :

11.14.3.2.1 Régulateur basé sur la température (type_régl_BS=0)

11.14.3.2.1.1 Calcul de la valeur de régulation

L'écart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur du ballon (ou la partie inférieure du ballon s'il n'y a pas d'échangeur) est comparée à la valeur de régulation $\Delta\theta_{reg}$. Si $\Delta\theta_{reg}$ est faible, la boucle solaire fonctionnera plus souvent mais les consommations de la pompe seront plus importantes. $\Delta\theta_{reg}$ correspond donc à un optimum entre apport d'énergie renouvelable et consommation d'électricité.

Par convention, dans Th-BCE, la valeur de $\Delta\theta_{reg}$ est prise égale à 1K pour les installations des maisons individuelles et des logements collectifs. Dans les autres cas, sa valeur est de 3K.

Si l'objet « boucle_solaire » n'alimente que des zones telles que $Usage_Zone=1$ ou $Usage_zone=2$,

$$\Delta\theta_{reg} = 1 \quad (1504-1)$$

Si l'objet « boucle_solaire » alimente des zones telles que $Usage_Zone \neq \{1,2\}$,

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

11.14.3.2.1.2 Calcul du fonctionnement de la boucle solaire

On calcule l'écart de température entre la sortie capteur et la sortie de l'échangeur du ballon (ou la partie inférieure du ballon s'il n'y a pas d'échangeur) :

$$\Delta\theta_{ce} = \frac{2Q_{sol}^{Int} + UA_{te}(\theta_{comp} - \theta_e) + UA_{ti}(\theta_{comp} - \theta_{amb}) - \alpha_p P_{nP}}{2\dot{m} C_p} \quad (1505)$$

où $\theta_{comp} = \theta_m$ s'il y a un échangeur, $\theta_{comp} = \theta_{b_moy_ech}$ sinon. Si

$$\Delta\theta_{ce} < \Delta\theta_{reg} \quad (1506)$$

$Q_{sol} = 0$, la pompe est arrêtée et sa consommation P_p est nulle, sinon $P_p = P_{np}$ et $Q_{sol} = Q_{sol}^{Int}$.