

## AMÉNAGEMENT NATURE, LOGEMENT

MINISTÈRE DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

MINISTÈRE DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

### Arrêté du 16 août 2017 relatif à l'agrément des modalités de prise en compte du geocooling dans la réglementation thermique 2012

NOR : TERL1716486A

**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** : prise en compte du geocooling dans la réglementation thermique (procédure dite « Titre V »).

**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>).

Le ministre d'Etat, ministre de la transition écologique et solidaire, et le ministre de la cohésion des territoires,

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<sup>er</sup>.** – Conformément à l'article 50 de l'arrêté du 26 octobre 2010 susvisé et à l'article 40 de l'arrêté du 28 décembre 2012 susvisé, le mode de prise en compte du geocooling dans la méthode de calcul Th-B-C-E 2012, définie par l'arrêté du 30 avril 2013 susvisé, est agréé selon les conditions d'application définies en annexe (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 16 août 2017.

*Le ministre de la cohésion des territoires,*  
Pour le ministre et par délégation :  
*Le sous-directeur de la qualité  
et du développement durable  
dans la construction,*  
E. ACCHIARDI

*Le ministre d’Etat,  
ministre de la transition écologique  
et solidaire,*

Pour le ministre d’Etat et par délégation :

*Le sous-directeur de la qualité  
et du développement durable  
dans la construction,*  
E. ACCHIARDI

Par empêchement du directeur général  
de l’énergie et du climat :  
*L’adjoint au chef du service du climat  
et de l’efficacité énergétique,*  
R. CAILLETON

---

(1) L’annexe du présent arrêté sera publiée au *Bulletin officiel* du ministère de la transition écologique et solidaire et du ministère de la cohésion des territoires.

## ANNEXE

### MODALITES DE PRISE EN COMPTE DU GEOCOOLING DANS LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE 2012

#### 1. DEFINITION DU SYSTEME

Le geocooling consiste à utiliser directement la ressource sol pour rafraîchir les bâtiments, sans avoir recours à un groupe frigorifique intermédiaire. Il s'agit d'un système qui peut être appliqué en résidentiel comme en tertiaire.

Le système se compose d'un échangeur souterrain (sonde verticales ou horizontales) ou d'un captage sur nappe d'eau souterraine, d'un échangeur intermédiaire, et d'un réseau de distribution d'eau froide. L'énergie récupérée dans cette geostructure est transmise au réseau de distribution d'eau froide du bâtiment au travers d'un échangeur intermédiaire. Les locaux sont refroidis via les émetteurs du bâtiment, en général des émetteurs permettant un fonctionnement à régime de température d'eau élevé ( $T > 15^{\circ}\text{C}$ ).

Une régulation d'ensemble pilote l'activation du ou des circulateurs de part et d'autre de l'échangeur en fonction des besoins des locaux (régulations terminales), de la température de source géothermique, ainsi que de la gestion des priorités entre les différents générateurs de froid le cas échéant. Cette régulation gère également le basculement entre les modes chauffage et refroidissement par geocooling de l'installation.

Un exemple d'installation de geocooling type est représentée ci-dessous :

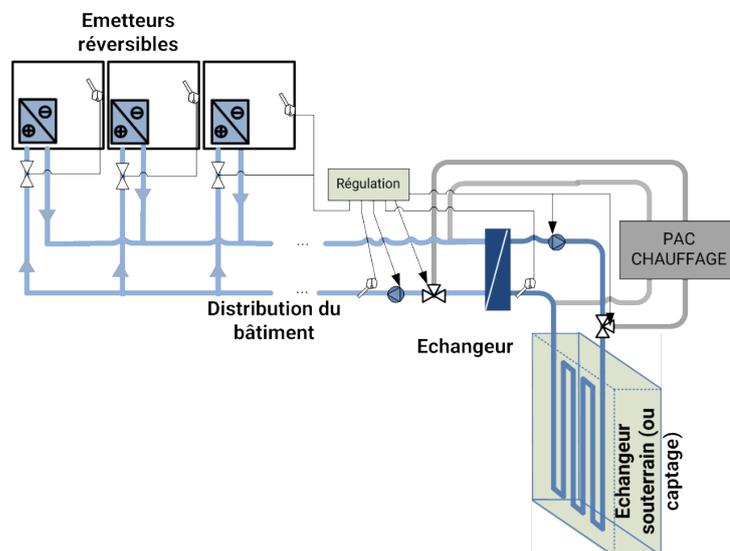


Figure 1 : représentation d'une installation type de geocooling

Deux configurations peuvent apparaître :

- **Refroidissement par geocooling et système actif** : le geocooling est mis en œuvre en association avec un système actif de climatisation. Ce système actif est activé en complément ou en substitution au geocooling au cours des périodes de forts besoins en froid. Il peut lui aussi exploiter l'échangeur souterrain (générateur thermodynamique eau/eau) ou être dé-corrélé du geocooling (groupe froid air/eau, climatisation air/air par local, DRV...).

Les groupes desservis par l'ensemble geocooling et système actif sont alors considérés comme climatisés au sens de la RT2012 ;

- **Rafraîchissement par geocooling seul** : le geocooling est mis en œuvre sans complément par un système actif. Le geocooling contribue au confort intérieur, sans pour autant constituer un système de climatisation à part entière. Cette configuration peut notamment correspondre au cas où on dimensionne la source géothermique pour l'utilisation en chauffage, mais on souhaite malgré tout valoriser l'amélioration de confort possible grâce au geocooling.

Dans ce second cas, les groupes desservis par le geocooling seul sont considérés comme non-climatisés au sens de la RT2012.

## 2. CHAMP D'APPLICATION

Cet arrêté est applicable à tout système correspondant à la description ci-dessus, pour tout type de bâtiment, quelles que soient la zone climatique et l'altitude du projet.

## 3. METHODE DE PRISE EN COMPTE DANS LES CALCULS POUR LA PARTIE NON DIRECTEMENT MODELISABLE

### 3.1 PRINCIPE GENERAL

La prise en compte du geocooling diffère selon que le ou les groupes connectés sont climatisés c'est-à-dire que le confort thermique est assuré par un système actif mis en place en complément au geocooling :

- **En groupe climatisé (avec système actif) :** le geocooling est pris en compte sous la forme d'un générateur de refroidissement prioritaire associé à un ou plusieurs générateurs de froid d'appoint (ou de complément par temps chaud).  
La prise en compte en groupe climatisé est détaillée au §3.2.
- **En groupe non-climatisé (sans système actif) :** Le geocooling est pris en compte sous la forme d'un générateur de refroidissement seul. Il impacte le calcul à la fois :
  - o **au niveau Cep**, au travers des consommations de circulateurs (Cep\_dist) et de ventilateurs locaux (Cep\_vent),
  - o **au niveau Tic**, par la prise en compte de la puissance de rafraîchissement apportée au groupe et donc la réduction de température intérieure amenée par le geocooling.

La prise en compte en groupe non-climatisé est détaillée au §3.3.

**En groupe de catégorie CE2**, le système de geocooling devra être accompagné d'un générateur de froid supplémentaire, dont les caractéristiques garantissent que les locaux pourront être maintenus à la température de consigne de refroidissement.

**En groupe de catégorie CE1**, selon les contraintes de dimensionnement du projet, le rafraîchissement par geocooling peut être complété ou non par un générateur de froid supplémentaire. Si un générateur de froid supplémentaire est présent, le groupe est alors considéré comme climatisé. Dans le cas contraire, le groupe est considéré non-climatisé et le calcul Tic est réalisé dans les conditions Th-BCE.

La Figure 2 ci-dessous synthétise les enjeux de cette prise en compte différenciée :

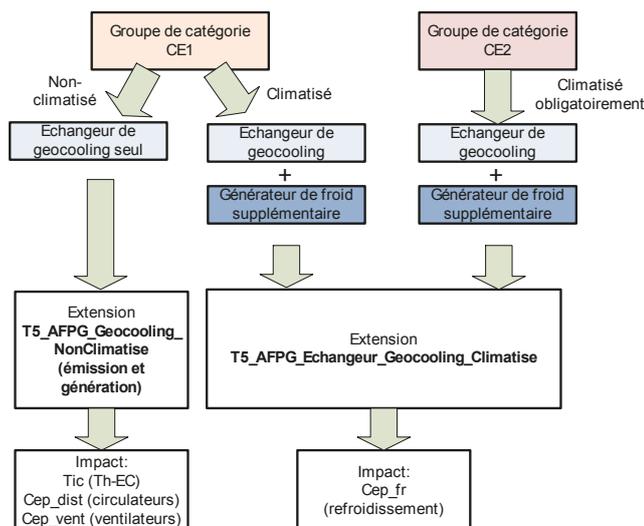


Figure 2 : modalités de prise en compte différencié du geocooling selon les applications

## 3.2 PRISE EN COMPTE POUR LES GROUPES CLIMATISÉS

### 3.2.1 PRINCIPE

Dans le cas d'un groupe climatisé, le geocooling est pris en compte de manière simplifiée au travers d'un générateur de refroidissement équivalent, prenant en compte l'échangeur thermique entre la source amont (géosstructure, nappe souterraine...) et le réseau d'eau du bâtiment. En modélisant une génération « en cascade », on représente l'association de l'échangeur de geocooling avec un groupe frigorifique (eau/eau, air/eau, sous-station de réseau de froid urbain...) partageant le même réseau de distribution/émission. L'utilisation du geocooling suppose dans tous les cas que les émetteurs de refroidissement fonctionnent à un régime d'eau permettant une température retour élevée (par exemple 20°C).

L'association entre geocooling et générateur de refroidissement supplémentaire en série peut se présenter de la manière suivante :

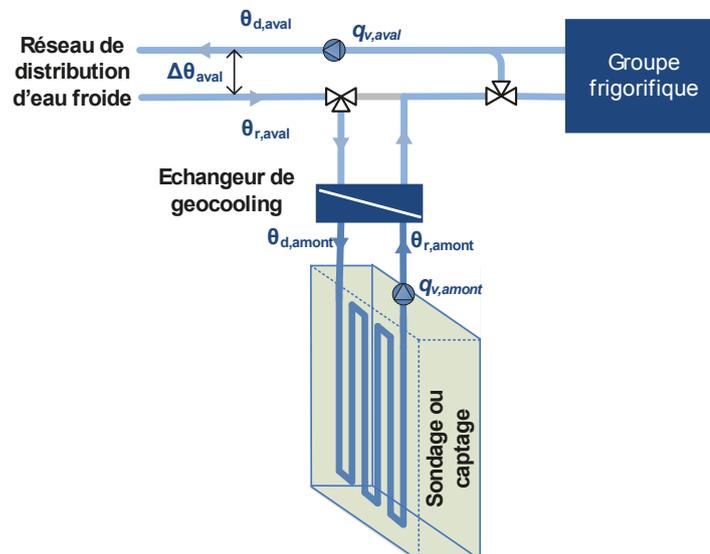


Figure 3: association d'un échangeur de geocooling et d'un groupe frigorifique

On identifie deux types d'association possible :

- **1<sup>er</sup> cas « base + complément »** : le geocooling refroidit l'eau partiellement de quelques degrés, et un générateur de refroidissement vient compléter jusqu'à la température départ voulue (par exemple 15°C).
- **2<sup>ème</sup> cas « alterné »** : le geocooling est utilisé lorsque sa puissance est suffisante pour refroidir le bâtiment. S'il s'avère insuffisant, on bypass l'échangeur et on utilise uniquement le second générateur de refroidissement. Cela suppose que ce dernier peut couvrir seul les besoins de refroidissement du bâtiment. Ce type d'association devra être utilisé dans le cas où le générateur de refroidissement complémentaire est un générateur thermodynamique partageant la même source que le geocooling.

Dans les deux cas, si le geocooling s'arrête à cause de la température de source, le générateur de refroidissement complémentaire prend le relais seul. L'échangeur de geocooling est systématiquement prioritaire par rapport aux autres générateurs de froid.

### 3.2.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 1 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera  $h$  le pas de temps de simulation et  $j$  le jour de simulation.

Entrées du composant					
Nom	Description	Unité			
$\theta_{\text{amont}}(h)$	Température de source amont géothermique	°C			
$\theta_{\text{aval}}(fr_j)(h)$	Température aval du générateur (température moyenne départ/retour réseau d'eau froide du bâtiment)	°C			
$W_{\text{aux,am}}(h)$	Puissance électrique absorbée par les circulateurs de la source amont géothermique	W			
$Q_{\text{req,fr}}(h)$	Besoin énergétique pour le refroidissement	Wh			
$\theta_{\text{amb}}(h)$	Température ambiante pour le calcul des pertes thermiques du générateur	°C			
Paramètres intrinsèques du composant					
Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$q_{v,\text{aval,nom}}$	Débit volumique d'eau froide nominal de la boucle aval d'eau froide	m <sup>3</sup> /h	0	+∞	
$\Delta\theta_{\text{aval}}$	Ecart de température départ-retour nominal de la production d'eau froide	°C	0	8	
$q_{v,\text{amont,nom}}$	Débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source amont	m <sup>3</sup> /h	0	+∞	
$\Delta\theta_{\text{amont}}$	Ecart de température nominal aux bornes de l'échangeur côté source amont	°C	0	8	
$\theta_{r,\text{source,lim}}$	Température limite de retour d'eau côté source pour la désactivation de la fonction geocooling	°C	0	25	
$UA_{\text{geo,nom}}$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre	W/K	0	+∞	
$P_{\text{prim,nom}}$	Puissance du circulateur du circuit primaire associée à l'échangeur de geocooling (le cas échéant)	W	0	+∞	
Paramètres d'intégration du composant					
Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
$id_{\text{fougen}}$	Mode de fonctionnement admis par le générateur : <i>Refroidissement : 2</i>	Ent	0	6	2
$id_{\text{engen}}$	Identificateur de l'énergie principale : <i>Electricité : 5</i>	Ent	1	6	5
$id_{\text{fluide_aval}}$	Nature du fluide aval : <i>1 : eau</i>	Ent	1	2	1
$id_{\text{fluide_amont}}$	Nature de la source amont : <i>1 : eau</i>	Ent	1	3	1
$R_{\text{dim}}$	Nombre de générateurs identiques	Ent	1	+∞	1

<i>Type_Association</i>	Type d'association avec les autres générateurs de froid : 0 - Base et complément, 1 - Alterné	Ent	0	1	0
<b>Sorties</b>					
Nom	Description	Unité			
$Q_{fou}(h)$	Energie totale effectivement fournie par le générateur pour le mode sollicité.	Wh			
$\{Q_{cef}(h)\}$	Matrice des consommations par poste et par type d'énergie	Wh			
$W_{aux,pro}(h)$	Consommation d'auxiliaire propre au générateur (hors source amont)	Wh			
$P_{n,gen,fr}$	Puissance de refroidissement de l'échangeur de geocooling dans les conditions nominales	W			
$Q_{rest}(h)$	Energie restant à fournir (dépassant la puissance maximale du générateur) pour le mode sollicité.	Wh			
$\Phi_{rejet}(h)$	Quantité d'énergie rejetée à la source amont (générateur thermodynamique)	Wh			
$\tau_{charge}(h)$	Taux de charge du générateur	-			
$\eta_{eff}(h)$	Efficacité du générateur en énergie finale	-			
<b>Variables internes</b>					
Nom	Description	Unité			
$P_{max}(h)$	Puissance maximale que peut fournir l'échangeur au pas de temps h	W			
$\theta_{d,aval,pc}(h)$	Température de départ aval de l'échangeur calculée dans l'hypothèse d'un plein débit côté source	°C			
$\theta_{r,aval}(h)$	Température de retour aval de l'échangeur	°C			
$\theta_{d,amont}(h)$	Température de départ amont de l'échangeur	°C			
$\theta_{r,amont}(h)$	Température de retour amont de l'échangeur	°C			
$q_{v,aval}(h)$	Débit volumique d'eau dans l'échangeur de geocooling côté distribution	m <sup>3</sup> /h			
$Is\_On(h)$	Indicateur booléen d'activation possible du geocooling au pas de temps h	Bool			
$\epsilon_{geo}(h)$	Efficacité de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-			
$NUT(h)$	Coefficient caractéristique adimensionnel : nombre d'unités de transfert de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-			
$C(h)$	Rapport de déséquilibre des débits énergétiques de l'échangeur de geocooling	-			

---

**Constantes**

---

<b>Nom</b>	<b>Description</b>	<b>Unité</b>	<b>Conv.</b>
$\rho_e$	Masse volumique de l'eau	kg/m <sup>3</sup>	1000
$c_e$	Capacité calorifique massique de l'eau	J/(kg.K)	4180

Nomenclature des différentes variables du modèle pour les groupes climatisés

### 3.2.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

Les différentes étapes de l'algorithme sur un pas de temps sont présentées de manière séquentielle dans les paragraphes ci-dessous.

#### 3.2.3.1 Calcul des températures retour de distribution et de source

On commence par estimer les températures entrant dans l'échangeur de geocooling de part et d'autre :

- la température retour aval à partir de la température aval  $\theta_{\text{aval}}$  du générateur et de l'écart de température  $\Delta\theta_{\text{aval}}$  départ et retour aval. Pour rappel, la température aval est par définition la moyenne des températures départ et retour de distribution d'eau froide. On suppose un fonctionnement de la génération  $\Delta\theta_{\text{aval}}$  constant et débit variable au niveau de la génération. Ainsi :

$$\theta_{r,\text{aval}}(h) = \theta_{\text{aval}}(h) + \frac{\Delta\theta_{\text{aval}}}{2} \quad (1)$$

- la température retour de source à partir de la température amont. Le principe est le même que pour la température aval :

$$\theta_{r,\text{amont}}(h) = \theta_{\text{amont}}(h) - \frac{\Delta\theta_{\text{amont}}}{2} \quad (2)$$

#### 3.2.3.2 Condition d'activation sur la température retour de source amont

L'étape suivante consiste à vérifier la condition d'activation du point de vue de la température retour de la source amont  $\theta_{r,\text{amont}}(h)$ . Cette dernière doit prendre en compte l'effet de pincement au niveau de l'échangeur de geocooling et la limite de température de source imposée pour permettre une régénération de la ressource géothermique au fil de l'année :

$$\begin{aligned} \text{Si } \theta_{r,\text{amont}}(h) < \theta_{r,\text{source},\text{lim}} \text{ et } \theta_{r,\text{amont}}(h) < \theta_{r,\text{aval}}(h), \text{ alors :} \\ I_{\text{So}}(h) &= \text{vrai} \\ \text{Sinon,} \\ I_{\text{So}}(h) &= \text{faux} \end{aligned} \quad (3)$$

#### 3.2.3.3 Prise en compte de l'échangeur de geocooling

L'efficacité de l'échangeur de geocooling  $\epsilon_{\text{geo}}(h)$  est calculée selon la méthode utilisée pour les échangeurs intermédiaires des sources amont de type « captage de type nappe avec échangeur », décrite au chapitre 10.23.3.3.2 de la méthode Th-BCE, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant.

On souhaite estimer la température départ aval  $\theta_{d,\text{aval}}(h)$  en fonction des températures retours précédemment calculées :

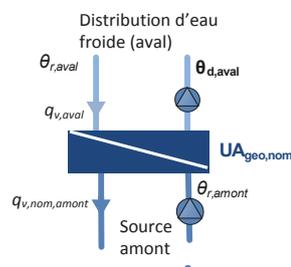


Figure 4: modélisation de l'échangeur de geocooling

Concernant le débit d'eau côté bâtiment, la valeur de débit aval utilisée dans les réseaux de distribution n'est pas disponible. On l'estime alors sur la base du  $\Delta\theta_{\text{aval}}$  et du besoin en refroidissement :

$$q_{v,\text{aval}}(h) = \text{MIN} \left( \frac{Q_{\text{req},\text{fr}}(h)}{\rho_e \cdot c_e \cdot \Delta\theta_{\text{aval}}}; q_{v,\text{aval},\text{nom}} \right) \quad (4)$$

On caractérise l'échangeur de geocooling en partant du principe que le débit d'eau côté source est fixé à sa valeur nominale  $q_{v,amont,nom}$ . On peut ainsi calculer un taux de charge équivalent à transmettre à la source amont.

Bien que le débit côté distribution,  $q_{v,aval}(h)$  puisse varier, on fait l'hypothèse que le coefficient d'échange  $UA_{geo,nom}$  reste applicable. On considère que les constantes physiques du fluide côté source sont celles de l'eau sans additif

$$NUT(h) = \frac{3600 \cdot UA_{geo,nom}}{\rho_e \cdot c_e \cdot MIN(q_{v,aval}(h); q_{v,amont,nom})} \quad (5)$$

On détermine le coefficient de déséquilibre de l'échange thermique :

$$C(h) = \frac{MIN(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))}{MAX(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))} \quad (6)$$

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

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h) + 1} \quad (7)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h) \cdot (1-C(h))}}{1 - C(h) \cdot e^{-NUT(h) \cdot (1-C(h))}} \quad (8)$$

On en déduit la température  $\theta_{d,aval,pc}(h)$  correspondant à un fonctionnement à débit d'eau côté source fixé à sa valeur nominale :

$$\theta_{d,aval,pc}(h) = \theta_{r,aval}(h) + \varepsilon_{geo}(h) \cdot \frac{MIN(q_{v,amont,nom}; q_{v,aval}(h))}{q_{v,aval}(h)} \cdot (\theta_{r,amont}(h) - \theta_{r,aval}(h)) \quad (9)$$

La puissance maximale équivalente de l'échangeur de geocooling, pour une température de retour  $\theta_{r,aval}(h)$ , peut être exprimée comme suit:

$$P_{max}(h) = q_{v,aval}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e \cdot [\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval,pc}(h)] \quad (10)$$

$P_{max}(h)$  est nécessairement positive ou nulle.

### 3.2.3.4 Prise en compte du type d'association avec les autres générateurs de froid

Dans le cas d'une association « alterné » (Type\_Association = 2), l'échangeur de geocooling n'est utilisé que si sa puissance maximale  $P_{max}(h)$  est suffisante pour couvrir les besoins de froid du bâtiment.

Dans le cas contraire, il est considéré comme étant à l'arrêt :

$$\text{Si } Q_{req,fr}(h) > P_{max}(h), \text{ alors :} \quad (11)$$

$$P_{max}(h) = 0 \text{ W}$$

Par contre, dans le cas d'une association « base + complément » (Type\_Association = 1), l'échangeur de geocooling est utilisé dès que les températures de sources le permettent (cf. §3.2.3.2).

### 3.2.3.5 Calcul des sorties

La puissance nominale du générateur  $P_{n,gen,fr}$  est évaluée une seule fois au début de la simulation. Elle est calculée selon la méthode du §3.2.3.3, en considérant les débits d'eau nominaux de part et d'autres de l'échangeur et en imposant  $\theta_{r,aval} = 20^{\circ}C$  et  $\theta_{r,amont} = 10^{\circ}C$ .

Les autres sorties sont calculées à chaque pas de temps  $h$ . Pour ce qui est de la quantité d'énergie fournie, de la quantité d'énergie restante et du taux de charge équivalent :

$$Q_{fou}(h) = MIN(Q_{req,fr}(h); P_{max}(h)) \quad (12)$$

$$Q_{rest}(h) = Q_{req,fr}(h) - Q_{fou}(h) \quad (13)$$

$$\tau_{charge}(h) = \frac{Q_{fou}(h)}{P_{max}(h)} \quad (14)$$

Si  $P_{max}(h)$  est nulle, alors  $\tau_{charge}(h) = 0\%$ .

La quantité d'énergie rejetée à la source (positive par convention pour un générateur de refroidissement) est égale à la quantité d'énergie envoyée sur le réseau de distribution :

$$\Phi_{rejet}(h) = Q_{fou}(h) \quad (15)$$

Les consommations électriques de circulateur sont déjà comptabilisées aussi bien côté distribution d'eau froide (dans Cep\_dist) que côté source amont, au travers de  $W_{aux,am}(h)$ . Il se peut néanmoins qu'un circulateur spécifique au circuit primaire soit mis en place, notamment lorsqu'un petit volume de stockage est associé à l'installation. Dans ce cas de figure, la consommation électrique de circulateur nominale  $P_{cprim,nom}$  est comptabilisée partiellement, au prorata du ratio entre débit aval effectif et débit aval nominal :

$$W_{aux,pro}(h) = \frac{q_{v,aval}(h)}{q_{v,aval,nom}} \cdot P_{cprim,nom} \quad (16)$$

$$Q_{cef\{fr,elec\}}(h) = W_{aux,pro}(h) \quad (17)$$

L'efficacité du générateur de geocooling peut être définie comme suit :

$$\eta_{eff}(h) = \frac{Q_{fou}(h)}{W_{aux,pro}(h) + W_{aux,am}(h)} \quad (18)$$

### 3.3 PRISE EN COMPTE POUR LES GROUPES NON-CLIMATISÉS

#### 3.3.1 PRINCIPE

La présente fiche algorithmique traite de la prise en compte globale d'une installation de geocooling. Cette installation est décrite en deux sous-ensembles :

- un ou plusieurs composants décrivant les émetteurs du système de geocooling (Geocooling – Emission) dans les différents groupes, ainsi que la partie terminale du réseau de distribution d'eau froide (distribution du groupe au sens de la méthode Th-BCE). On intègre également dans ce sous-bloc tout ce qui a trait à la régulation terminale du geocooling (modulation de puissance dans les locaux),
- un composant décrivant la distribution intergroupes, au sens de la méthode Th-BCE, et l'échangeur de séparation entre l'eau froide du bâtiment et l'eau de la source amont géothermique. On intègre également dans ce sous-bloc tout ce qui a trait à la régulation centrale du geocooling, notamment l'activation/désactivation en fonction de la température de source. Ce second composant se place au niveau de la génération.

On ne modélise pas la source amont géothermique en elle-même, cette dernière restant prise en compte conformément à la méthode Th-BCE §10.23.

### 3.3.2 NOMENCLATURE

Le Tableau 1 donne la nomenclature des différentes variables du modèle. Dans toute la suite du document, on notera  $h$  le pas de temps de simulation et  $j$  le jour de simulation.

Entrées du composant			
	Nom	Description	Unité
Geocooling - Emission	$\theta_{sd}(h)$	Température de sonde intérieure au sens du §10.1 de Th-BCE.	°C
	$\theta_{cons,fr}(h)$	Température de consigne de refroidissement du groupe au pas de temps $h$	°C
	$Aut_{ch,eff}(h)$	Autorisation de chauffage effective au pas de temps $h$	Ent.
	$\phi_{crois,raf}(h)$	Puissance requise (négative) pour maintenir la température de consigne du rafraichissement direct au pas de temps $h$	W
	$\theta_{i,moy(0,;0)}(h)$	Température d'air intérieur moyenne sans prise en compte des puissances émises sur le pas de temps $h$	°C
	$\theta_{rm,moy(0,;0)}(h)$	Température radiante moyenne sans prise en compte des puissances émises sur le pas de temps $h$	°C
Source	$\theta_{amont}(h)$	Température de la source amont au pas de temps $h$	°C
	$W_{aux,am}(h)$	Consommation électrique de source amont de la source amont géothermique au pas de temps $h$	Wh
	$\theta_{ext}(h)$	Température extérieure au pas de temps $h$	°C

### Paramètres intrinsèques du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Emission	$Typologie\_Emetteur\_Froid$	Typologie d'émetteur pour la détermination du $P_{em,conv}$ (voir <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> partie 3.3.3.3.3).	-	0	6	
	$P_{em,conv}$	Ratio d'énergie convective sur l'énergie totale transmise (voir <b>Erreur ! Source du renvoi introuvable.</b> partie 3.3.3.3.3)	-	0	1	-
	$P_{per,em}$	Ratio de pertes au dos de l'émetteur sur l'énergie émise.	-	0	1	-
	$K_{em,100\%}$	Coefficient de transfert thermique à 100 % du débit d'eau froide nominal entre l'émetteur et l'ambiance intérieure	W/K	0	+∞	
	$K_{em,30\%}$	Coefficient de transfert thermique à 30 % du débit d'eau froide nominal entre l'émetteur et l'ambiance intérieure	W/K	0	+∞	
	$q_{nom}^{em}$	Débit volumique d'eau froide nominal pour l'émission du geocooling	m <sup>3</sup> /h	0	+∞	
	$P_{VCV\_MV}^{em}$ $P_{VCV\_veille}^{em}$	Puissance absorbée par les ventilateurs locaux d'émission du geocooling en moyenne vitesse (MV) et en mode veille	W	0	+∞	
échangeur de géocooling	$\theta_{d,geo,nom}$	Température départ d'eau froide de consigne pour la fonction geocooling	°C	15	25	
	$\Delta\theta_{hyst,d,Geo}$	Hystérésis de la régulation sur la température départ du système de geocooling	°C	0	2	1.0

$\theta_{r,source,lim}$	Température limite de retour d'eau côté source pour la désactivation de la fonction geocooling	°C	0	25	
$\Delta\theta_{d-r,source}$	Ecart de température nominal aux bornes de l'échangeur côté source amont	°C	0	$+\infty$	3
$UA_{geo,nom}$	Coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre	W/K	0	$+\infty$	
$Q_{nom,geo}$	Débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source géothermique	m <sup>3</sup> /h	0	$+\infty$	

### Paramètres d'intégration du composant

	Nom	Description	Unité	Min	Max	Conv
Emission	$L_{vc}$	Longueur totale du réseau de distribution du groupe en volume chauffé pour le composant geocooling - émission	m	0	$+\infty$	
	$U_{vc}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau de distribution du groupe en volume chauffé pour le composant geocooling - émission	W/(m.K)	0	$+\infty$	
Distribution intergroupes	$L_{vc,dist}$	Longueur totale de distribution intergroupes de l'installation de geocooling	m	0	$+\infty$	
	$U_{vc,dist}$	Coefficient de déperdition linéaire moyen du réseau de distribution	W/(m.K)	0	$+\infty$	
	$b_{dist}$	Coefficient de prise en compte de l'impact du passage dans des espaces tampons non-chauffés/rafraichis de la distribution	-	0	1	
	$P_{circ,nom}$	Puissance électrique consommée par le ou les circulateurs des distributions intergroupes et primaire au débit nominal	W	0	$+\infty$	
	$id_{circ}$	Mode de régulation du circulateur de distribution du geocooling : 1 : Vitesse constante, 2 : Vitesse variable et maintien du réseau à une pression différentielle constante, 3 : Vitesse variable et variations de la pression différentielle du réseau.	Ent.	0	3	
	$\theta_{vc,ref,fr}$	Température intérieure du volume rafraichi de référence pour le calcul des pertes thermiques des distributions intergroupes	°C	0	100	26
	$Partrecup_{intgr}$	Part récupérable des pertes thermiques des distributions intergroupes de geocooling vers l'ambiance rafraichie	%	0	100	60

### Sorties

	Nom	Description	Unité
	$\theta_{cons}(h)$	Température de consigne du rafraichissement au pas de temps h	°C

$I_{s\_On}(h)$	Indicateur booléen d'activation du rafraîchissement au pas de temps h	Bool
$\phi_{utile,eff}^{em}(h)$	Puissance de rafraîchissement utile (négative) appliquée au groupe au pas de temps h	W
$\Phi_{pertes,vc}(h)$	Pertes thermiques récupérables totales liées au rafraîchissement direct vers le groupe contenant l'émission du geocooling	Wh
$W_{aux,dis}^{em}(h)$	Consommation électrique du rafraîchissement pour le poste « distribution » associée à l'émission du geocooling	Wh
$W_{aux,vent}^{em}(h)$	Consommation électrique du rafraîchissement pour le poste « ventilation » associée à l'émission du geocooling	Wh
$\tau_{charge,geo}(h)$	Taux de charge équivalent de l'échangeur de geocooling	-
$P_{n,geo}(h)$	Puissance nominale de rafraîchissement de l'échangeur de geocooling	W
$\Phi_{rejet,geo}(h)$	Puissance rejetée à la source amont par l'échangeur de geocooling (positive en rafraîchissement)	W

### Variables internes

	Nom	Description	Unité
Emission	$On\_Off(h)$	Indicateur booléen d'activation du geocooling au pas de temps h.	Bool
	$I_{saison\_ch}(j)$	Indicateur booléen précisant si l'un des groupes connectés est en saison de chauffage	Bool
	$K_{em,100\%}$ $K_{em,30\%}$	Coefficients de transfert thermique $K_{em,100\%}$ et $K_{em,30\%}$ corrigés pour inclure les pertes aux dos	W/K
Débits d'eau froide	$K_{em,eff}(h)$	Coefficients de transfert thermique au débit d'eau froide effectif	W/K
	$\theta_{ref}^{em}(h)$	Température intérieure de référence utilisée pour le calcul du transfert thermique par l'émission du geocooling	°C
	$Q_{nom}^{dist}$	Débit volumique d'eau froide nominal au niveau de la distribution	m <sup>3</sup> /h
	$Q_{eff}^{dist}(h)$	Débit volumique effectif au pas de temps h pour la partie distribution	m <sup>3</sup> /h
	$Q_{eff}^{em}(h)$	Débit volumique effectif au pas de temps h pour la partie émission du geocooling	m <sup>3</sup> /h
	$W_{circ}^{dist}(h)$	Consommation électrique du rafraîchissement pour le poste distribution d'eau	Wh
	$\theta_{amb,fr}(h)$	Température ambiante équivalente pour le calcul des pertes des distributions intergroupes	°C

Flux thermiques	$\phi_{\text{utile,nom}}^{\text{em}}(\text{h})$	Puissance de rafraîchissement utile au débit d'eau nominal disponible à l'émetteur (négative)	W
	$\phi_{\text{utile,30\%}}^{\text{em}}(\text{h})$	Puissance de rafraîchissement utile à 30% du débit d'eau nominal disponible à l'émetteur (négative)	W
	$\phi_{\text{pertes,d}}^{\text{em}}(\text{h})$ $\phi_{\text{pertes,r}}^{\text{em}}(\text{h})$	Pertes thermiques sur les portions départ (d) et retour (r) du réseau de distribution terminal (du groupe)	W
	$\phi_{\text{pertes,d}}^{\text{dist}}(\text{h})$ $\phi_{\text{pertes,r}}^{\text{dist}}(\text{h})$	Pertes thermiques sur les portions départ (d) et retour (r) du réseau de distribution intergroupes	W
Températures d'eau aux différents nœuds	$\theta_{\text{e,nom}}^{\text{em}}(\text{h})$ $\theta_{\text{s,nom}}^{\text{em}}(\text{h})$	Températures d'eau entrant et sortant de l'émission de rafraîchissement par geocooling au débit d'eau nominal	°C
	$\theta_{\text{s,30\%}}^{\text{em}}(\text{h})$	Température d'eau sortant de l'émission de rafraîchissement par geocooling à 30% du débit d'eau nominal	°C
	$\theta_{\text{e,eff}}^{\text{em}}(\text{h})$ $\theta_{\text{s,eff}}^{\text{em}}(\text{h})$	Température d'eau effective entrant et sortant de l'émission de rafraîchissement par geocooling	°C
	$\theta_{\text{r,dist}}^{\text{em}}(\text{h})$	Température d'eau retour du réseau de distribution du groupe (associé à l'émission)	°C
	$\theta_{\text{d,dist}}(\text{h})$ $\theta_{\text{r,dist}}(\text{h})$	Températures d'eau départ et retour moyenne des distributions du groupe	°C
	$\theta_{\text{d,aval}}(\text{h})$ $\theta_{\text{r,aval}}(\text{h})$	Températures d'eau départ et retour moyenne de l'échangeur de geocooling	°C
	$\theta_{\text{d,aval,pc}}(\text{h})$ $\theta_{\text{d,aval,pc}}(\text{h-1})$	Températures d'eau départ calculée dans l'hypothèse d'un plein débit côté source aux pas de temps h et h-1	°C
	$Q_{\text{geo,eff}}(\text{h})$	Quantité d'énergie de rafraîchissement effective à fournir par l'installation de geocooling	Wh
	$\theta_{\text{r,amont}}(\text{h})$	Température retour de source amont (température entrant dans l'échangeur côté source)	°C
	$\theta_{\text{d,amont}}(\text{h})$	Température départ de source amont (température sortant de l'échangeur côté source)	°C
Echangeur/stockage	$\epsilon_{\text{geo}}(\text{h})$	Efficacité de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
	NUT(h)	Coefficient caractéristique adimensionnel NUT de l'échangeur de geocooling au pas de temps h	-
	C(h)	Rapport de déséquilibre des débits énergétiques de l'échangeur de geocooling	-
<b>Constantes</b>			
<b>Nom</b>	<b>Description</b>	<b>Unité</b>	<b>Conv.</b>
$\rho_e$	Masse volumique de l'eau	kg/m <sup>3</sup>	1000
$c_e$	Capacité calorifique massique de l'eau	J/(kg.K)	4180

Nomenclature des différentes variables du modèle pour les groupes non climatisés

### 3.3.3 DESCRIPTION ALGORITHMIQUE

#### 3.3.3.1 Principe du calcul

L'algorithme est composé de quatre étapes :

- **1- Gestion régulation du geocooling** : cette étape intègre les éléments de régulation saisonnière, ainsi que le calcul de l'autorisation d'activation du geocooling au travers du seuil limite sur la température d'eau de retour de la géostructure (température entrant dans l'échangeur). Enfin, on détermine la température ambiante de consigne retenue au niveau de la régulation terminale, ainsi que la valeur de température départ imposée par la régulation centrale.
- **2- Prise en compte du réseau de distribution et des émetteurs** : cette seconde étape intervient si l'installation est activée à l'issue de l'étape 1 et si un besoin en rafraîchissement est constaté pour au moins un des groupes connectés. On détermine tout d'abord l'état de la boucle de distribution d'eau froide du bâtiment à pleine charge, afin de déterminer la puissance maximale de rafraîchissement disponible. Une fois le calcul de la puissance effective de rafraîchissement utilisée au niveau de chaque groupe, on détermine l'état effectif (à charge partielle) de la boucle de distribution d'eau froide du bâtiment. En parallèle, les pertes thermiques sont calculées pour chaque tronçon de distribution. Ces pertes thermiques sont ensuite converties en pertes récupérables puis sommées pour chacun des groupes desservis.
- **3- Prise en compte de l'échangeur de geocooling** : cette étape consiste à faire le lien entre la prise en compte du réseau de distribution et le calcul des données de sortie à destination de la source amont. Ce lien est réalisé au travers d'une modélisation selon la méthode du NUT de l'échangeur de geocooling et d'un calcul la quantité d'énergie puisée au niveau de l'échangeur de geocooling.
- **4- Calculs des consommations d'énergie électrique** : une fois l'ensemble de l'installation de geocooling caractérisée, on réalise un calcul des consommations de ventilateurs locaux et de circulateurs. Ces consommations sont finalement agglomérées, puis réparties entre les différents groupes desservis.

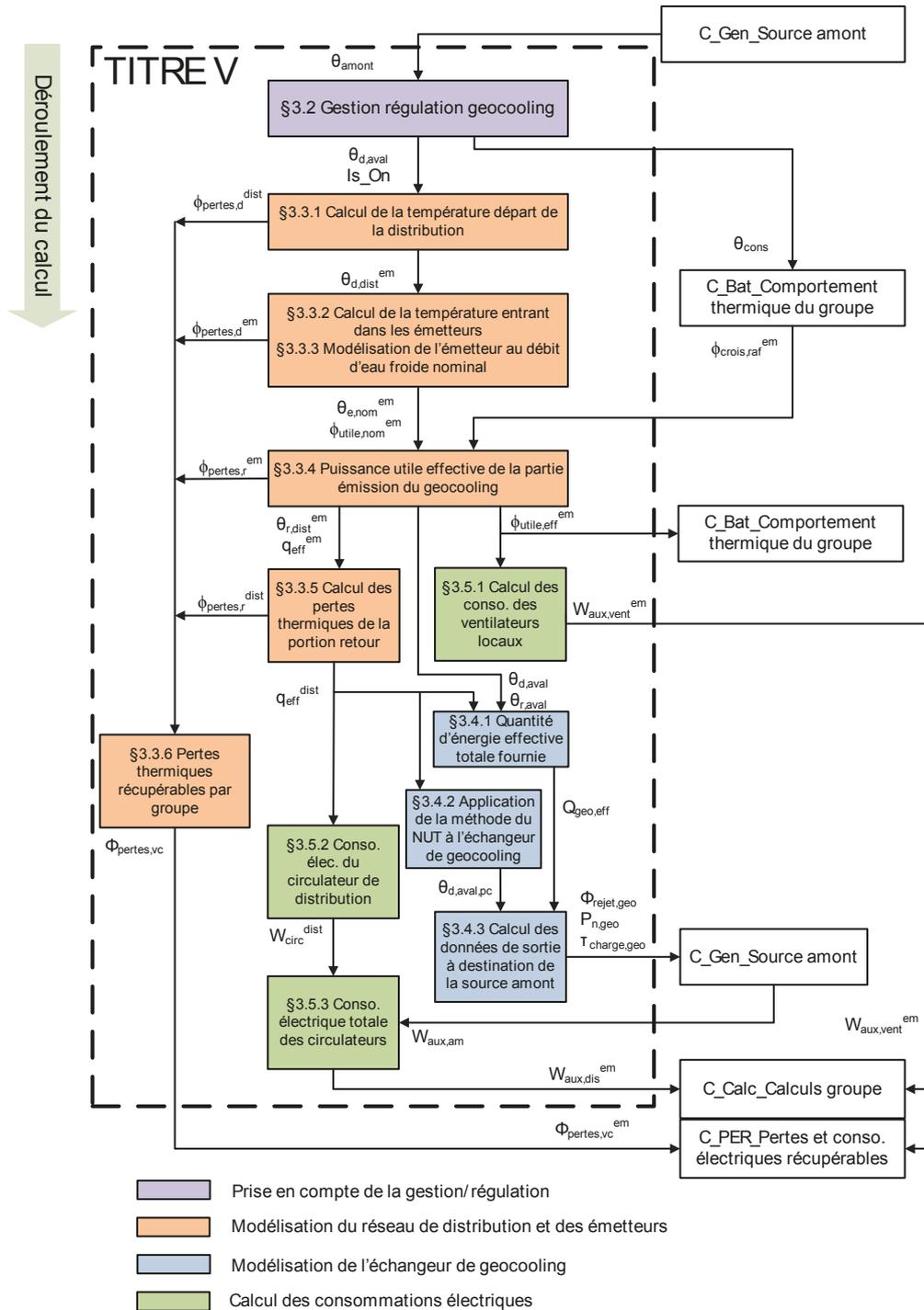


Figure 5 : Logigramme d'ensemble de l'algorithme

### 3.3.3.2 Gestion régulation du geocooling

#### 3.3.3.2.1 Conditions d'activation

La première étape consiste à déterminer la disponibilité de la ressource de geocooling en fonction de la température de source au pas de temps précédent.

Les conditions d'activation du geocooling sont les suivantes :

- On se trouve hors saison de chauffage pour l'ensemble des groupes connectés, c'est-à-dire si  $I_{S_{saison\_ch}}(j)$  est faux. Cet indicateur est déterminé à partir des indicateurs des différents groupes connectés :

$$I_{S_{saison\_ch}}(j) = \max_{gr} (Aut_{ch}^{gr}(j)) \quad (19)$$

- Une température retour de la source amont  $\theta_{r,amont}(h)$  inférieure à  $\theta_{r,source,lim}$ . Cette température retour est estimée à partir de la température amont (moyenne départ/retour) renvoyée par la source amont et la différence départ/retour nominale (fixée à 3 °C) :

$$\theta_{r,amont}(h) = \theta_{amont}(h) - \frac{\Delta\theta_{d-r,source}}{2} \quad (20)$$

La température de source limite  $\theta_{r,source,lim}$  doit nécessairement être inférieure à la température départ de consigne du geocooling  $\theta_{d,Geo,nom}$ . Elle doit prendre en compte l'effet de pincement au niveau de l'échangeur de geocooling.

Pour rappel, dans toute cette partie 3.3, le geocooling ne peut être activé au niveau d'un groupe que lorsque les systèmes de chauffage ou de refroidissement du groupe sont désactivés.

Si ces trois conditions sont remplies, on a alors :

$$I_{S_{on}}(h) = \text{vrai}$$

Sinon :

$$I_{S_{on}}(h) = \text{faux}$$

#### 3.3.3.2.2 Détermination de la température de consigne

On considèrera que le système prévoit des températures de consigne identiques à un système de refroidissement. On reprend à ce titre directement la température de consigne  $\theta_{cons,fi}(h)$  intégrant l'impact des périodes d'occupation, de relance et d'inoccupation, ainsi que le type d'usage du groupe. On rappelle qu'en occupation, cette température est de 28°C en usage d'habitation et de 26°C dans les autres usages.

En fonction de cette température de consigne, le moteur calcule un besoin en refroidissement conformément à la méthode basée sur la droite de comportement thermique du groupe (voir méthode Th-BCE §10.1.3.4 Droite du groupe et §10.1.3.5 Calcul de la puissance totale requise par le groupe).

#### 3.3.3.2.3 Calcul de la température départ de l'installation de geocooling

Soit  $\theta_{d,Geo}(h)$  la température départ commune à toute l'installation de geocooling. Si le geocooling est activé, il est supposé fonctionner à sa température départ de consigne  $\theta_{d,Geo,nom}$  imposée par la régulation. Le fonctionnement tout ou rien sur le principe de l'hystérésis introduit néanmoins une dérive dans la température départ moyenne effectivement constatée d'environ la moitié de l'hystérésis.

Par ailleurs, dans le cas où la quantité d'énergie sur l'échangeur de geocooling aurait été insuffisante pour atteindre cette température départ nominale au pas de temps précédent, on considèrera qu'il y a eu dérive de la température départ. On corrige donc en reprenant la valeur calculée au pas de temps précédent.

Ainsi :

$$\theta_{d,aval}(h) = \text{MAX} \left( \theta_{d,aval,pc}(h-1); \theta_{d,geo,nom} + \frac{\Delta\theta_{hyst,d,Geo}}{2} \right) \quad (21)$$

Où  $\Delta\theta_{hyst,d,Geo}$  est la valeur de l'hystérésis retenue par la régulation du système de geocooling, fixée par convention à 1°C.

### 3.3.3.3 Prise en compte du réseau de distribution et des émetteurs

Contrairement à la modélisation d'un système de climatisation, la prise en compte du rafraîchissement par geocooling implique de déterminer une puissance maximale de rafraîchissement disponible.

La puissance que peut fournir l'émetteur à eau dépend de la différence de température entre l'eau y circulant et la température du local. Il faut donc caractériser l'état de la boucle de distribution en considérant un taux d'utilisation du geocooling de 100%, afin de calculer la température entrant dans les différents émetteurs de rafraîchissement  $\theta_{e,nom}^{em}(h)$  en conditions nominales.

#### 3.3.3.3.1 Première partie du calcul des pertes de distribution intergroupes : calcul de la température départ des distributions

La première étape consiste à estimer l'impact des pertes thermiques sur la température d'eau départ pour les distributions collectives (intergroupes).

On commence par calculer  $\theta_{d,dist}$ , température en sortie de la branche départ de la distribution intergroupes, qui correspond à la température d'eau entrant dans les distributions du groupe (voir Figure 6) :

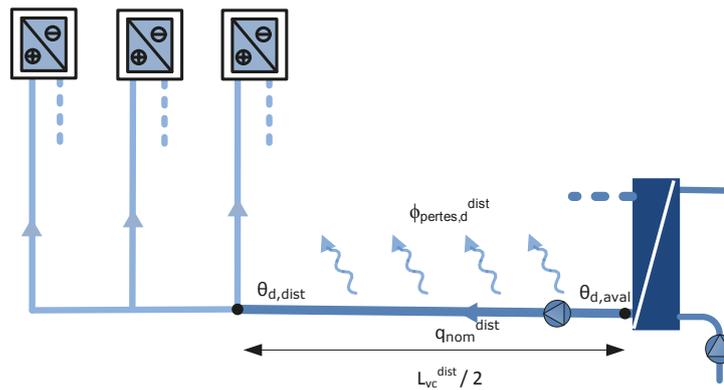


Figure 6 : calcul de la température d'eau froide  $\theta_{d,dist}$

En termes de pertes thermiques, seule la portion en volume rafraîchi est prise en compte, l'impact des pertes des portions hors volume rafraîchi étant estimé négligeable.

La longueur de distribution à considérer est la moitié de la longueur totale  $L_{vc}$ , dans la mesure où cette dernière englobe la portion départ et la portion retour.

La température départ  $\theta_{d,dist}(h)$  au débit d'eau nominal  $q_{ef,nom}$  est calculée de la manière suivante :

$$\theta_{d,dist}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{dist} \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{U_{vc,dist} \cdot \frac{L_{vc,dist}}{2}}{2}} \left[ \left( q_{nom}^{dist} \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{U_{vc,dist} \cdot \frac{L_{vc,dist}}{2}}{2} \right) \cdot \theta_{d,aval}(h) + U_{vc,dist} \cdot \frac{L_{vc,dist}}{2} \cdot \theta_{amb,fr}(h) \right] \quad (22)$$

Où :

- $\theta_{amb,fr}(h)$  est la température ambiante équivalente utilisée pour le calcul. Elle est évaluée selon la relation usuelle de prise en compte d'un effet tampon entre l'extérieur et l'ambiance chauffée/refroidie considérée à une température fixe de  $\theta_{vc,ref,fr} = 26^\circ\text{C}$ :

$$\theta_{amb,fr}(h) = b_{dist} \cdot \theta_{vc,ref,fr} + (1 - b_{dist}) \cdot \theta_{ext}(h) \quad (23)$$

- $q_{ef,nom}^{dist}$  est le débit nominal d'eau froide obtenu par sommation de l'ensemble des débits nominaux des distributions des groupes :

$$q_{ef,nom}^{dist} = \sum_{em} q_{nom}^{em} \quad (24)$$

Les pertes thermiques de la portion départ de la distribution intergroupes peuvent donc être calculées comme suit :

$$\phi_{pertes,d}^{dist} = q_{nom}^{dist} \cdot \rho_e \cdot c_e [\theta_{d,aval}(h) - \theta_{d,dist}(h)] \quad (25)$$

### 3.3.3.2 Calcul de la température entrant dans les émetteurs

Il s'agit de déterminer la température entrant dans les émetteurs, toujours dans l'hypothèse que le débit d'eau froide est à sa valeur nominale. La longueur totale de la distribution du groupe  $L_{vc}$  saisie en paramètre est la somme des longueurs de la portion départ et retour de chaque émetteur. Aussi, pour calculer la température entrant dans les émetteurs, les pertes thermiques sont calculées en considérant la moitié de cette longueur :

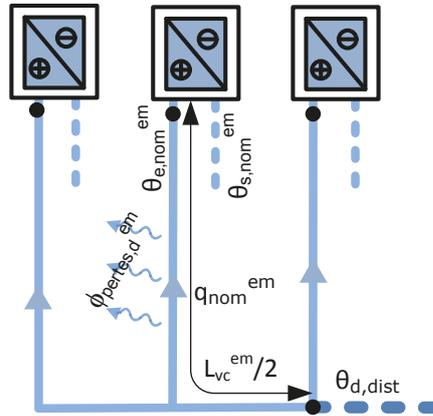


Figure 7 : calcul de la température  $\theta_{e,nom}$

Ainsi, la température à l'entrée de l'émetteur est calculée selon la relation suivante :

$$\theta_{e,nom}^{em}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{U_{vc} \cdot L_{vc}}{2}} \left[ \left( q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{U_{vc} \cdot L_{vc}}{2} \right) \cdot \theta_{d,dist}(h) + U_{vc} \cdot \frac{L_{vc}}{2} \cdot \theta_{i,moy(0;0)}(h) \right] \quad (26)$$

A partir du résultat précédent, les pertes thermiques de la portion départ de la distribution du groupe peuvent être calculées comme suit :

$$\phi_{pertes,d}^{em}(h) = q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e [\theta_{d,dist}(h) - \theta_{e,nom}^{em}(h)] \quad (27)$$

### 3.3.3.3 Modélisation de l'émetteur au débit d'eau froide nominal

Cette partie vise à calculer la puissance nominale émise par l'émetteur de rafraîchissement, ainsi que la température de sortie d'eau de l'émetteur au débit d'eau nominal :

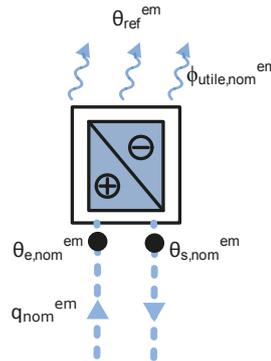


Figure 8 : calcul de la puissance maximale disponible  $\phi_{\text{utile,nom}}^{\text{em}}$

Pour les ventilo-convecteurs, le coefficient  $K_{em,100\%}$  au débit nominal utilisé est celui déterminé selon la norme NF EN 1397 dans l'hypothèse d'une puissance de ventilateur moyenne au sens de la méthode Th-BCE §10.1.3.8. On suppose également qu'il n'y a pas de phénomène de condensation sur l'émetteur, étant donné que la température d'eau entrant dans l'émetteur en geocooling sera toujours plus élevée que 15 °C (contrainte sur le paramètre  $\theta_{d,Geo,nom}$ ).

On introduit  $\theta_{ref}^{\text{em}}(h)$  la température intérieure de référence pour l'échangeur thermique entre l'émetteur et le local, dépendant du ratio convectif dans la puissance émise :

$$\theta_{ref}^{\text{em}}(h) = P_{emconv} \cdot \theta_{i,moy(0;0)}(h) + (1 - P_{emconv}) \cdot \theta_{rm,moy(0;0)}(h) \quad (28)$$

Des valeurs de  $P_{emconv}$  par défaut sont proposées en fonction du type d'émetteur, en reprenant la même logique que dans la description des émetteurs de refroidissement dans la méthode Th-BCE 2012, « §10.1.3.2.3 Parts convectives de transmission de l'énergie au groupe ».

Ces dernières valeurs sont rappelées ci-dessous :

Typologie Emetteur Froid	$P_{emconv}$
Soufflage d'air froid (ventilo-convecteurs...)	0,95
Poutre froide	0,80
Plafonds rafraîchissant, panneaux rafraîchissants de plafond	0,50
Murs rafraîchissants	0,35
Plancher rafraîchissant	0,20

Parts convectives par défaut de  $P_{emconv}$  pour le rafraîchissement en fonction de la typologie d'émetteur

Ainsi :

$$\theta_{s,nom}^{\text{em}}(h) = \frac{1}{q_{nom}^{\text{em}} \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{K'_{em,100\%}}{2}} \left[ \left( q_{nom}^{\text{em}} \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{K'_{em,100\%}}{2} \right) \cdot \theta_{e,nom}^{\text{em}}(h) + K'_{em,100\%} \cdot \theta_{ref}^{\text{em}}(h) \right] \quad (29)$$

Où  $K'_{em,100\%}$  est le coefficient d'émission corrigé pour intégrer l'impact des pertes aux dos (W/K) :

$$K'_{em,100\%} = \frac{K_{em,100\%}}{1 - P_{per}} \quad (30)$$

La puissance maximale possiblement émise par le geocooling dans l'ambiance est déduite des températures d'eau aux bornes de l'émetteur, en soustrayant les pertes au dos :

$$\phi_{utile,nom}^{em}(h) = (1 - P_{per}) \cdot q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{e,nom}^{em}(h) - \theta_{s,nom}^{em}(h)) \quad (31)$$

### 3.3.3.4 Puissance utile effective de la partie émission du geocooling

La puissance utile effectivement émise par le geocooling est le maximum entre la puissance utile et la puissance nécessaire au rafraîchissement de l'ambiance jusqu'à la température de consigne (toutes deux négatives) :

$$\phi_{utile,eff}^{em}(h) = MAX(\phi_{utile,nom}^{em}(h); \phi_{crois,raf}(h)) \quad (32)$$

Lorsque le système fonctionne à charge partielle, on considèrera que la modulation de puissance intervient par variation du débit d'eau froide. Cette variation de débit d'eau froide est supposée sans impact sur la température entrant dans l'émetteur : quel que soit le débit d'eau, la température d'entrée de l'émetteur est prise égale à  $\theta_{e,nom}^{em}(h)$  :

$$\theta_{e,eff}^{em}(h) = \theta_{e,nom}^{em}(h) \quad (33)$$

Afin d'estimer le débit d'eau effectif moyen sur l'heure ainsi que la température de sortie de l'émetteur, on calcule la puissance utile correspondant à un débit d'eau froide égal à 30% du débit d'eau nominal, de la même manière que la puissance de rafraîchissement nominale a été calculée :

$$\theta_{s,30\%}^{em}(h) = \frac{1}{0,3 \cdot q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{K'_{em,30\%}}{2}} \left[ \left( 0,3 \cdot q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{K'_{em,30\%}}{2} \right) \cdot \theta_{e,nom}^{em}(h) + K'_{em,30\%} \cdot \theta_{ref}^{em}(h) \right] \quad (34)$$

$$\phi_{utile,30\%}^{em} = (1 - P_{per}) \cdot 0,3 \cdot q_{nom}^{em} \cdot \rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{e,nom}^{em}(h) - \theta_{s,30\%}^{em}(h)) \quad (35)$$

Avec  $K'_{em,30\%}$  le coefficient d'émission corrigé pour intégrer l'impact des pertes aux dos (W/K) :

$$K'_{em,30\%} = \frac{K_{em,30\%}}{1 - P_{per}} \quad (36)$$

Le débit d'eau froide effectif est déterminé en supposant une relation linéaire par morceau entre la puissance utile de rafraîchissement et le débit traversant l'émetteur :

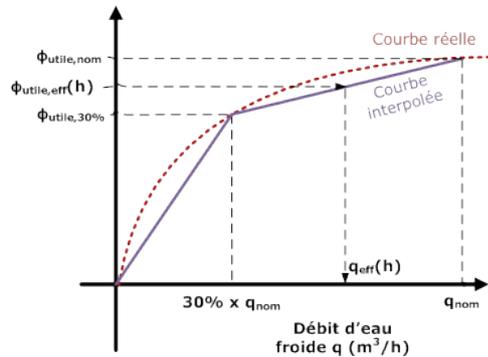


Figure 9 : relation entre puissance utile de rafraîchissement (W) et débit d'eau froide ( $m^3/h$ )

Ainsi :

$$\text{Si } |\phi_{\text{utile,eff}}^{\text{em}}(h)| > |\phi_{\text{utile,30\%}}^{\text{em}}(h)|, \text{ alors :}$$

$$q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) = \left( \frac{\phi_{\text{utile,eff}}^{\text{em}}(h) - \phi_{\text{utile,30\%}}^{\text{em}}(h)}{\phi_{\text{utile,nom}}^{\text{em}}(h) - \phi_{\text{utile,30\%}}^{\text{em}}(h)} \cdot 0,7 + 0,3 \right) \cdot q_{\text{nom}}^{\text{em}} \quad (37)$$

Sinon,

$$q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) = \frac{|\phi_{\text{utile,eff}}^{\text{em}}(h)|}{|\phi_{\text{utile,nom}}^{\text{em}}(h)|} \cdot 0,3 \cdot q_{\text{nom}}^{\text{em}} \quad (38)$$

A partir de là, on calcule l'ensemble des variables restantes permettant de caractériser le réseau de distribution du groupe :

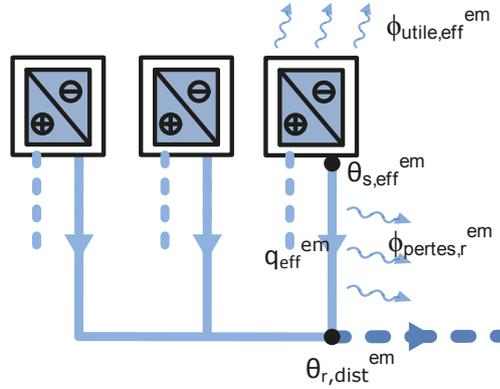


Figure 10 : calcul de la température  $\theta_{r,dist}^{\text{em}}$

$$\theta_{s,eff}^{\text{em}}(h) = \theta_{e,nom}^{\text{em}}(h) - \frac{\phi_{\text{utile,eff}}^{\text{em}}(h)}{q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e} \quad (39)$$

A partir de là, la température retour de la distribution du groupe est calculée de la manière suivante, en considérant la température d'air intérieure comme référence de température ambiante :

$$\theta_{r,dist}^{\text{em}}(h) = \frac{1}{q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{U_{vc} \cdot L_{vc}}{2}} \left[ \left( q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{U_{vc} \cdot L_{vc}}{2} \right) \cdot \theta_{s,eff}^{\text{em}}(h) + U_{vc} \cdot \frac{L_{vc}}{2} \cdot \theta_{i,moy(0;0)}(h) \right] \quad (40)$$

Et on en déduit les pertes thermiques de la portion retour du réseau de distribution du groupe :

$$\phi_{\text{pertes,r}}^{\text{em}}(h) = q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e [\theta_{r,dist}^{\text{em}}(h) - \theta_{s,eff}^{\text{em}}(h)] \quad (41)$$

### 3.3.3.3.5 Seconde partie du calcul des pertes de distribution intergroupes : calcul des pertes thermiques de la portion retour

On introduit le débit d'eau effectif total du réseau de distributions intergroupes :

$$q_{\text{eff}}^{\text{dist}}(h) = \sum_{em} q_{\text{eff}}^{\text{em}}(h) \quad (42)$$

La température d'eau en entrée de la portion retour de la distribution intergroupe est égale à la moyenne des températures retour pondérées par les débits massiques des distributions du groupe :

$$\theta_{r,dist}(h) = \frac{\sum_{em} (q_{eff}^{em}(h) \cdot \theta_{s,eff}^{em}(h))}{q_{eff}^{dist}(h)} \quad (43)$$

Si  $q_{eff}^{dist}(h)$  est nul, on fixe  $\theta_{r,dist}(h) = \theta_{d,dist}(h)$ .

Enfin, la température de retour d'eau au niveau de l'échangeur de geocooling est obtenue par la même méthode que celle utilisée au 3.3.3.3.1.

Les variables concernées sont représentées sur la Figure 11 page suivante.

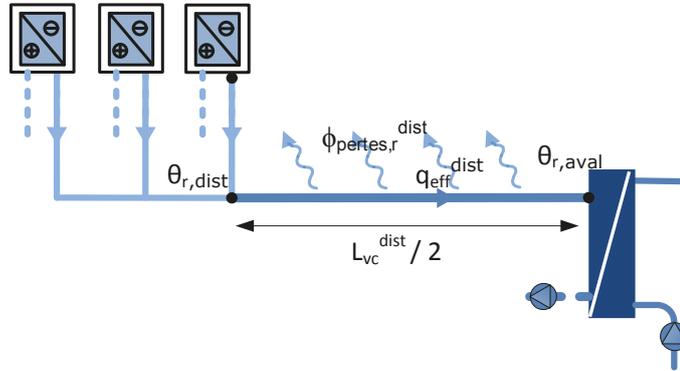


Figure 11 : calcul de la température  $\theta_{r,aval}$

La température  $\theta_{r,aval}$  est calculée selon la relation suivante :

$$\theta_{r,aval}(h) = \frac{1}{q_{eff}^{dist}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e + \frac{U_{vc}^{dist} \cdot L_{vc}^{dist}}{2}} \left[ \left( q_{eff}^{dist}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e - \frac{U_{vc}^{dist} \cdot L_{vc}^{dist}}{2} \right) \cdot \theta_{r,dist}(h) + U_{vc}^{dist} \cdot \frac{L_{vc}^{dist}}{2} \cdot \theta_{amb,fr}(h) \right] \quad (44)$$

Pour rappel,  $\theta_{amb,fr}(h)$  est calculée selon la relation (23).

On en déduit les pertes thermiques sur la portion retour de la distribution intergroupes :

$$\phi_{pertes,r}^{dist}(h) = q_{eff}^{dist}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e [\theta_{r,aval}(h) - \theta_{r,dist}(h)] \quad (45)$$

### 3.3.3.3.6 Pertes thermiques récupérables par groupe

Les pertes thermiques récupérables  $\Phi_{pertes,vc}^{em}(h)$  pour chaque Geocooling - Emission sont calculées comme suit, en répartissant les pertes « intergroupes » au prorata des débits d'eau froide :

$$\Phi_{pertes,vc}^{em}(h) = W_{aux,vent}^{em}(h) + \phi_{pertes,d}^{em}(h) + \phi_{pertes,r}^{em}(h) + \text{Part}_{recup,intgr} \cdot \frac{q_{eff}^{em}(h)}{q_{eff}^{dist}(h)} \cdot (\phi_{pertes,d}^{dist}(h) + \phi_{pertes,r}^{dist}(h)) \quad (46)$$

Où  $\text{Part}_{recup,intgr}$  est la part récupérable des pertes thermiques des distributions intergroupes de geocooling vers l'ambiance rafraîchie, prise conventionnellement égale à 60 %.

Si  $q_{eff}^{dist}(h)$  est nul, ces pertes récupérables n'incluent que la contribution des ventilateurs locaux :

$$\Phi_{pertes,vc}^{em}(h) = W_{aux,vent}^{em}(h) \quad (47)$$

A noter qu'à l'instar de l'hypothèse faite dans la méthode Th-BCE, §10.9.3.3.2 pour les distributions intergroupes de refroidissement, les consommations de circulateur sont considérées non-récupérables.

$\Phi_{pertes,vc}^{em}(h)$  vient s'ajouter aux pertes et consommations électriques récupérables prévues au chapitre 12.1 de la méthode Th-BCE pour le groupe contenant l'émission du geocooling.

### 3.3.3.4 Prise en compte de l'échangeur de geocooling

#### 3.3.3.4.1 Quantité d'énergie effective totale fournie par l'installation de geocooling

La quantité d'énergie effective fournie par l'échangeur de geocooling est calculée à partir des températures départ et retour déterminées à partir du bilan de la boucle de distribution du geocooling à pleine charge d'utilisation (voir équations (21) et (44)) :

$$Q_{geo,eff}(h) = q_{eff}^{dist}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e [\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval}(h)] \quad (48)$$

#### 3.3.3.4.2 Application de la méthode du NUT à l'échangeur de geocooling

Soient  $\epsilon_{geo}(h)$  l'efficacité de l'échangeur de geocooling et  $\theta_{r,amont}(h)$  la température retour de la source amont calculée dans l'équation (20).

L'efficacité de l'échangeur est calculée selon la méthode utilisée pour les échangeurs intermédiaires des sources amont de type « captage de type nappe avec échangeur », proposée au chapitre 10.23.3.3.2 de la méthode Th-BCE, en faisant l'hypothèse d'un échangeur à contre-courant :

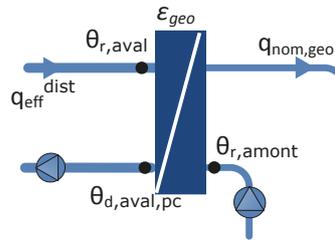


Figure 12 : calcul de la température  $\theta_{d,aval,pc}$  par modélisation de l'échangeur

On caractérise l'échangeur de geocooling en partant du principe que le débit d'eau côté source est fixé à sa valeur nominale. Bien que le débit côté distribution,  $q_{eff}^{dist}(h)$ , puisse varier, on fait l'hypothèse que le coefficient d'échange  $UA_{nom}$  reste applicable. Par ailleurs, on considère que les constantes physiques du fluide côté source sont celles de l'eau sans additif.

$$NUT(h) = \frac{3600 \cdot UA_{geo,nom}}{\rho_e \cdot c_e \cdot \text{MIN}(q_{eff}^{dist}(h); q_{nom,geo})} \quad (49)$$

On détermine le coefficient de déséquilibre de l'échange thermique :

$$C(h) = \frac{\text{MIN}(q_{nom,geo}; q_{eff}^{dist}(h))}{\text{MAX}(q_{nom,geo}; q_{eff}^{dist}(h))} \quad (50)$$

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

$$\epsilon_{geo}(h) = \frac{NUT(h)}{NUT(h) + 1} \quad (51)$$

Sinon,

$$\varepsilon_{geo}(h) = \frac{1 - e^{-NUT(h) \cdot (1-C(h))}}{1 - C(h) \cdot e^{-NUT(h) \cdot (1-C(h))}} \quad (52)$$

On en déduit la température  $\theta_{d,aval,pc}(h)$  correspondant à un fonctionnement à débit d'eau côté source fixé à sa valeur nominale :

$$\theta_{d,aval,pc}(h) = \theta_{r,aval}(h) + \varepsilon_{geo}(h) \cdot \frac{MIN(q_{nom,geo}; q_{eff}^{dist}(h))}{q_{eff}^{dist}(h)} \cdot (\theta_{r,aval}(h) - \theta_{r,amont}(h)) \quad (53)$$

### 3.3.3.4.3 Calcul des données de sortie à destination de la source amont

La quantité d'énergie rejetée à la source est égale à l'énergie envoyée sur le réseau de distribution :

$$\Phi_{rejet,geo}(h) = Q_{geo,eff}(h) \quad (54)$$

La puissance nominale équivalente de l'échangeur de geocooling à communiquer à la source amont géothermique est calculée de la manière suivante :

$$P_{n,geo}(h) = q_{eff}^{dist}(h) \cdot \rho_e \cdot c_e \cdot (\theta_{r,aval}(h) - \theta_{d,aval,pc}(h)) \quad (55)$$

$P_{n,geo}(h)$  est nécessairement positive ou nulle.

Le taux de charge équivalent de l'échangeur de geocooling peut être estimé de la façon suivante :

$$\tau_{charge,geo}(h) = MIN\left(1; \left| \frac{\Phi_{rejet,geo}(h)}{P_{n,geo}(h)} \right| \right) \quad (56)$$

Si  $P_{n,geo}(h)$  est nulle, alors  $\tau_{charge,geo}(h) = 0\%$ .

### 3.3.3.5 Calcul des consommations d'énergie électrique

#### 3.3.3.5.1 Calcul des consommations de ventilateurs locaux

Ce paragraphe ne concerne que le cas où les émetteurs terminaux utilisés incluent des ventilateurs locaux (ventilo-convecteurs).

Dans ce cas, lorsque le geocooling est activé au niveau d'une émission ( $\phi_{utile,eff}^{em}(h) < 0$  W), par cohérence avec l'hypothèse prise sur le coefficient  $K_{em}$  de l'émetteur, on considérera que le ventilo-convecteur fonctionne à vitesse constante égale à la vitesse moyenne. Sinon, on prendra en compte la consommation de ventilo-convecteur en mode veille, qui doit inclure l'éventuelle consommation associée au maintien d'une circulation d'air au niveau de la sonde de température intégrée, le cas échéant.

Si  $\phi_{utile,eff}^{em}(h) < 0$  W, alors :

$$W_{aux,vent}^{em}(h) = P_{VCV,MV}^{em} \quad (57)$$

Sinon,

$$W_{aux,vent}^{em}(h) = P_{VCV,veille}^{em} \quad (58)$$

#### 3.3.3.5.2 Consommation électrique du circulateur de distribution de l'installation de geocooling

La prise en compte du circulateur de distribution de l'installation de geocooling est identique à celle des réseaux de distribution de refroidissement prévue dans la méthode Th-BCE § 10.8.3.5.3.3. Elle identifie trois typologies de prise en compte selon la nature du circulateur et son pilotage :

Si  $id_{circ} = 1$  (circulateurs à vitesse constante), alors,

$$W_{circ}^{dist}(h) = P_{circ,nom} \quad (59)$$

Si  $id_{circ}=2$  (circulateurs à vitesse variable et réseau à une pression différentielle constante),

$$W_{circ}^{dist}(h) = \left( \frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}} \right)^{2/3} \cdot P_{circ,nom} \quad (60)$$

Si  $id_{circ}=3$  (circulateurs à vitesse variable et variation de la pression différentielle du réseau),

$$W_{circ}^{dist}(h) = \left( 0,5 \cdot \frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}} + 0,5 \cdot \left( \frac{q_{eff}^{dist}(h)}{q_{nom}^{dist}} \right)^2 \right)^{2/3} \cdot P_{circ,nom} \quad (61)$$

Où  $q_{nom}^{dist}$  est calculé selon l'équation (24).

Dans le cas d'une installation de geocooling avec un circulateur à vitesse constante, on supposera que le débit d'eau froide reste néanmoins variable dans l'installation (présence d'un bypass des émetteurs).

### 3.3.3.5.3 Consommation électrique totale des circulateurs de l'installation de geocooling

La consommation électrique totale des circulateurs de l'installation de geocooling est la somme de celle du circulateur de distribution  $W_{circ}^{dist}(h)$  et du circulateur de la source amont géothermique  $W_{aux,am}(h)$ . Cette consommation est répartie dans chaque composant Geocooling – Emission, afin d'être ajoutée directement aux consommations d'auxiliaires du groupe contenant ce composant.

La répartition se fait au prorata des débits d'eau froide effectifs de chaque émission :

$$W_{aux,dis}^{em}(h) = \frac{q_{eff}^{em}(h)}{q_{eff}^{dist}(h)} \cdot (W_{circ}^{dist}(h) + W_{aux,am}(h)) \quad (62)$$

Dans le cas où  $q_{eff}^{dist}(h)$  est nul, la répartition se fait au prorata des débits d'eau froide nominaux de chaque émission :

$$W_{aux,dis}^{em}(h) = \frac{q_{nom}^{em}}{q_{nom}^{dist}} \cdot (W_{circ}^{dist}(h) + W_{aux,am}(h)) \quad (63)$$

### 3.4 CAS D'UN UN BATIMENT CONTENANT DES GROUPES CLIMATISÉS ET NON-CLIMATISÉS

Il peut se présenter le cas où une partie seulement des groupes desservis par une installation de geocooling est climatisée. Cela peut survenir notamment si un système de refroidissement complémentaire de type multi-split ou DRV (air extérieur/air) n'est installé que dans une partie des locaux du bâtiment, par exemple en façade exposée à l'ensoleillement. Une telle installation est schématisée ci-dessous :

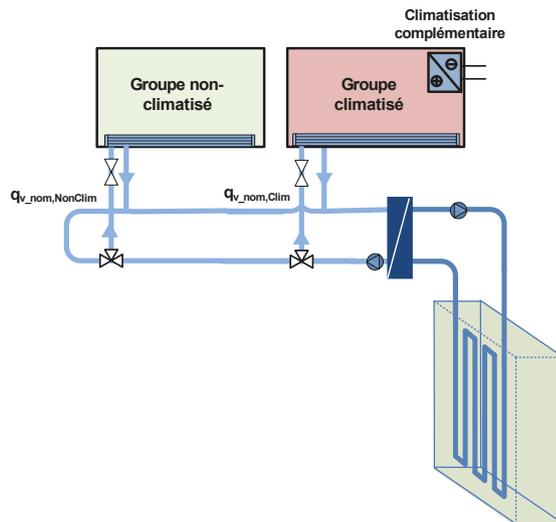


Figure 13 : Cas d'une installation de geocooling couvrant à la fois des groupes climatisés et non-climatisés

Dans ce cas de figure, il est nécessaire de prendre en compte à la fois l'impact du geocooling sur le calcul Tic pour le groupe non-climatisé et les consommations du geocooling pour les deux groupes.

Par conséquent, on subdivisera l'échangeur de geocooling en deux échangeurs fictifs. Les paramètres de dimensionnement des deux échangeurs fictifs sont ceux de l'échangeur de geocooling divisés en deux au prorata des débits volumiques nominaux d'eau froide circulant respectivement dans les émetteurs des groupes non-climatisés, noté  $qv_{nom,NonClim}$ , et dans ceux des groupes climatisés, noté  $qv_{nom,Clim}$ . Ces débits sont exprimés en  $m^3/h$  (voir Figure 13).

Le calcul des paramètres concernés selon ce principe est détaillé ci-dessous.

Pour l'échangeur fictif destiné aux groupes climatisés, les paramètres à adapter sont les suivants :

- Pour  $UA_{geo,nom}$ , coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre (W/K), on saisit :

$$UA_{geo,nom\ saisi} = \frac{qv_{nom,clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} UA_{geo,nom} \quad (64)$$

- $qv_{aval,nom}$ , débit volumique d'eau froide nominal de la production d'eau froide ( $m^3/h$ ) est pris égal à  $qv_{nom,clim}$

$$qv_{aval,nom} = qv_{nom,clim} \quad (65)$$

- Pour  $qv_{amont,nom}$ , débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source amont ( $m^3/h$ ), on saisit :

$$qv_{amont,nom\ saisi} = \frac{qv_{nom,clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} qv_{amont,nom} \quad (66)$$

- Pour  $P_{cprim,nom}$ , puissance du circulateur du circuit primaire associée à l'échangeur de geocooling (le cas échéant) en W, on saisit :

$$P_{cprim,nom} \text{ saisi} = \frac{qv_{nom,clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} P_{cprim,nom} \quad (67)$$

Pour l'échangeur fictif destiné aux groupes non-climatisés, les paramètres à adapter sont les suivants :

- Pour  $UA_{geo,nom}$ , coefficient de transfert thermique de l'échangeur de geocooling aux débits nominaux de part et d'autre (W/K), on saisit :

$$UA_{geo,nom} \text{ saisi} = \frac{qv_{nom,non-clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} UA_{geo,nom} \quad (68)$$

- Pour  $qv_{nom}^{em}$ , débit volumique nominal pour l'émission de geocooling (m<sup>3</sup>/h), on saisit :

$$qv_{nom}^{em} = qv_{nom,non-clim} \quad (69)$$

- Pour  $qv_{nom\_geo}$ , débit volumique nominal circulant dans l'échangeur de geocooling côté source amont (m<sup>3</sup>/h), on saisit :

$$qv_{nom\_geo} \text{ saisi} = \frac{qv_{nom,non-clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} qv_{nom\_geo} \quad (70)$$

- Pour  $P_{circ,nom}$ , puissance électrique consommée par le ou les circulateurs de la distribution intergroupes et primaire au débit nominal en W : concernant le circulateur du circuit primaire, on ne conservera que la portion de puissance électrique consommée non-attribuée au premier échangeur fictif :

$$P_{circ,nom} \text{ saisi} = \frac{qv_{nom,non-clim}}{qv_{nom,non-clim} + qv_{nom,clim}} P_{cprim,nom} + P_{circ,distribution} \quad (71)$$

Où  $P_{circ,distribution}$  représente la puissance électrique consommée par le ou les circulateurs de la distribution intergroupes et  $P_{cprim,nom}$  celle consommée par le ou les circulateurs du circuit primaire (en W).