

Rapport final, 18 janvier 2017

# Haute densité de sondes géothermiques

Calcul des effets à long terme  
d'installations géothermiques dans  
un quartier

**Auteur**

Daniel Pahud daniel.pahud@heig-vd.ch  
Laboratoire d'Energétique Solaire et de Physique du Bâtiment (LESBAT)  
Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (HEIG-VD)  
Avenue des Sports 20, CH-1400 Yverdon-les-Bains  
[www.heig-vd.ch](http://www.heig-vd.ch)

**La présente étude a été élaborée pour le compte de SuisseEnergie.  
La responsabilité du contenu incombe exclusivement à l'auteur.**

**Adresse**

SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN  
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Adresse postale : 3003 Berne  
Infoline 0848 444 444, [www.suisseenergie.ch/conseil](http://www.suisseenergie.ch/conseil)  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch), [www.suisseenergie.ch](http://www.suisseenergie.ch)

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION, OBJECTIF DE L'ÉTUDE</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>SITUATION DE DÉPART</b> .....	<b>4</b>
2.1	DEMANDE DE CHALEUR ET RECHARGE THERMIQUE EVENTUELLE.....	4
2.1	SONDES GÉOTHERMIQUES .....	6
2.2	PROPRIETES THERMIQUES DU TERRAIN.....	7
2.3	TEMPERATURES LIMITES DANS LE CIRCUIT DES SONDÉS.....	7
2.4	OUTIL DE SIMULATION .....	7
<b>3</b>	<b>RÉSULTATS</b> .....	<b>8</b>
3.1	DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION UNIQUE .....	8
3.2	EFFET D'UNE INSTALLATION VOISINE .....	10
3.3	DIMENSIONNEMENT EN TENANT COMPTE DE L'INSTALLATION VOISINE .....	11
3.4	RECHARGE THERMIQUE DU TERRAIN.....	13
3.5	EFFET DE QUARTIER .....	14
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>RÉFÉRENCES</b> .....	<b>19</b>

## 1 Introduction, objectif de l'étude

Dans le cadre de réflexions sur les effets à long terme d'installations géothermiques dans un quartier, ce travail s'inscrit dans l'évaluation des interactions thermiques entre champs de sondes géothermiques et l'effet d'une recharge thermique.

Un cas extrême est défini sur la base d'informations relatives à un quartier d'habitations planifié. Les besoins des bâtiments sont fixés par leurs dimensions et la densité des sondes par la taille des parcelles et des voies de communication. Comme les sondes géothermiques ne sont utilisées que pour la production de chaleur, les sondes de chaque installation sont disposées de façon dissipative et dimensionnées comme si aucune autre sonde géothermique n'était présente dans le voisinage.

Cette situation fixe le point de départ de cette étude pour l'analyse des effets à long terme qui en découlent et leur quantification.

## 2 Situation de départ

Il s'agit de définir tous les paramètres de simulation nécessaires à la caractérisation, du point de vue thermique, des champs de sondes géothermiques et de leur utilisation. Les principaux groupes de paramètres concernent en premier lieu la demande de chaleur, la recharge thermique éventuelle, les dimensions, les propriétés et la disposition des sondes géothermiques ainsi que les propriétés thermiques du terrain.

### 2.1 Demande de chaleur et recharge thermique éventuelle

Les besoins thermiques sont donnés pour 1 maison.

#### Besoins d'énergie thermique

Puissance thermique de pointe à installer (1 maison) :	40 [kW]
Energie thermique annuelle :	84 [MWh/an]

Ces besoins thermiques sont satisfaits avec une pompe à chaleur (PAC) dont on suppose que le coefficient de performance (COP) effectif pendant la puissance de pointe est de 3.82. Quant au coefficient de performance annuel (COPA) de l'installation, on suppose également une valeur de 3.82.

La puissance de pointe et l'énergie annuelle extraites du terrain sont donc établies comme suit :

Puissance thermique de pointe extraite du terrain ( $P_{\max}$ , 1 maison) :	29.5 [kW]
Energie thermique annuelle extraite du terrain (1 maison) :	62 [MWh/an]

Ceci correspond à 2'100 heures par an de fonctionnement à puissance maximale. L'établissement d'un profil horaire des besoins de chaleur a été fait sur la base de données météorologiques et en fixant deux contraintes :

- lors du jour le plus froid de l'année, la durée de l'extraction de chaleur avec la puissance de pointe se monte à 19h ;
- afin de séparer la phase d'extraction et de réinjection de chaleur dans le terrain, l'extraction de chaleur a lieu pendant les mois d'octobre à mai, et la réinjection de juin à septembre.

Le profil des besoins de chaleur est montré dans la figure 2.1.

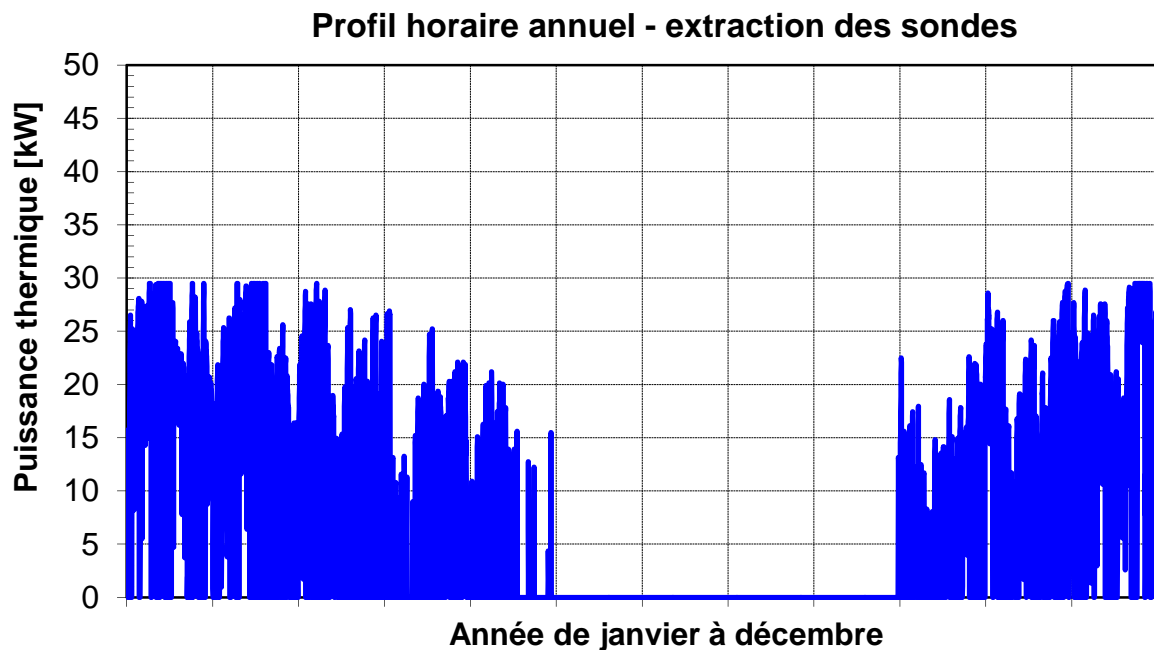


FIGURE 2.1: PROFIL D'EXTRACTION DE CHALEUR DES SONDES GEOTHERMIQUES POUR 1 MAISON (62 MWh/AN ET 29.5kW PENDANT 19H POUR LE JOUR LE PLUS FROID DE L'ANNEE).

### Recharge thermique éventuelle

Si une recharge thermique du terrain est simulée, elle se monte à 37 MWh/an entre juin et septembre. En admettant qu'elle soit réalisée avec un champ de capteurs solaires qui produisent 500 kWh/(m<sup>2</sup> an), la surface du champ est de 74 m<sup>2</sup>. En supposant une puissance thermique de pointe de 600 W/m<sup>2</sup> des capteurs, la puissance que les sondes doivent pouvoir absorber est de 45 kW. Un profil de recharge qui correspond à de telles caractéristiques est montré dans la figure 2.2.

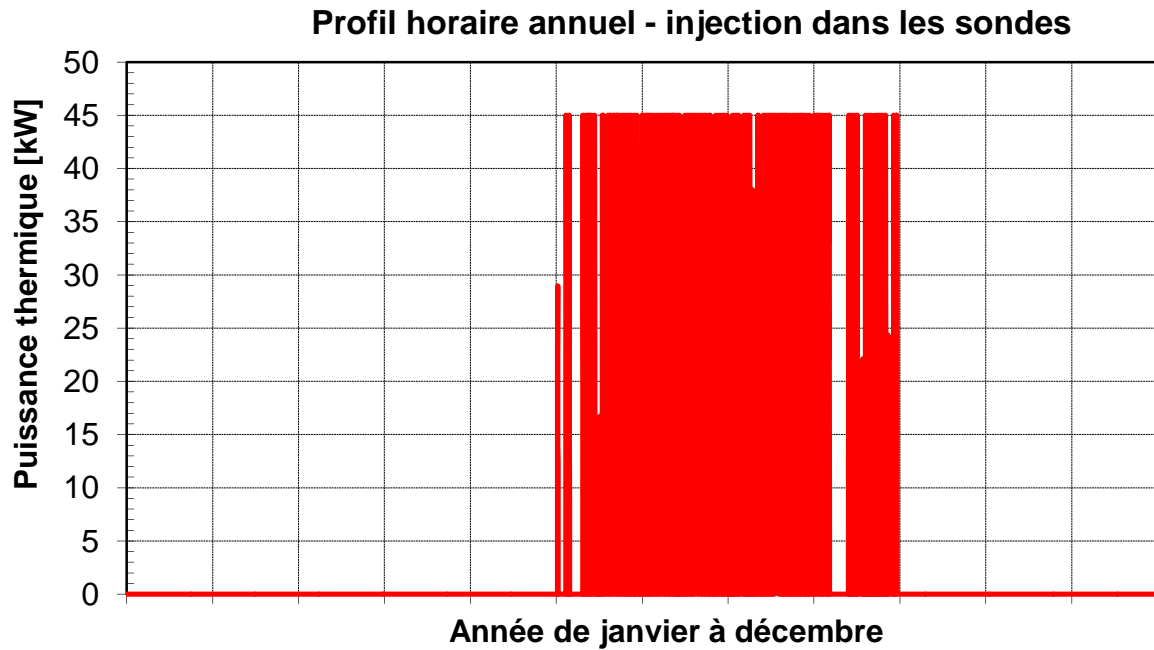


FIGURE 2.2: PROFIL D'INJECTION DE CHALEUR DANS LES SONDES GEOTHERMIQUES POUR 1 MAISON (37 MWH/AN ET 45kW PENDANT 9H POUR LE JOUR LE PLUS ENSOLEILLE DE L'ANNEE).

## 2.1 Sondes géothermiques

Pour chaque bâtiment, les sondes sont disposées selon une configuration dissipative. Comme le nombre de sondes géothermiques est de l'ordre de 6 par installation, la taille d'une parcelle (35m x 35m) n'est pas assez grande pour placer les sondes sur une ligne. La configuration en L est adoptée. Dans la figure 2.3, les positions de 6 sondes géothermiques espacées par 8m sont montrées dans une parcelle. Une distance de 5 m entre les sondes et la frontière de la parcelle est respectée.

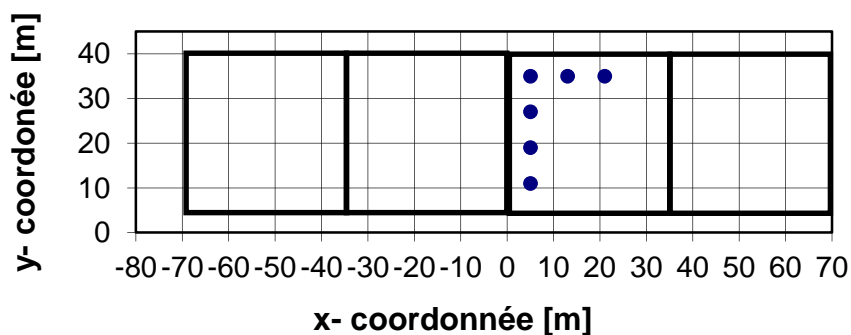


FIGURE 2.3: POSITION DES 6 SONDES GEOTHERMIQUES POUR UNE INSTALLATION. ESPACEES PAR 8M ET MAINTENUES A 5M DE LA FRONTIERE DE LA PARCELLE, LES SONDES SONT PLACEES SELON UNE CONFIGURATION DISSIPATIVE EN L.

Le dimensionnement d'une installation sans la prise en compte de sondes géothermiques dans le voisinage requiert 6 sondes de 180m de profondeur.

Nombre de sondes géothermiques	6 [-]
Longueur d'une sonde	180 [m]
Diamètre de forage d'une sonde	0.12 [m]
Résistance thermique d'une sonde $R_b$ (2U) avec eau et antigel	0.12 [K/(W/m)]
Résistance thermique interne d'une sonde $R_a$ (2U)	0.4 [K/(W/m)]
Espacement entre les sondes	8 [m]

## **2.2 Propriétés thermiques du terrain**

Les propriétés thermiques du terrain et de sa température initiale ont été fixées à des valeurs courantes et typiques du plateau Suisse. A relever que les calculs ne considèrent pas de mouvement de l'eau souterraine dans le terrain. Les valeurs utilisées sont les suivantes :

Conductivité thermique du terrain	2.2 [W/(mK)]
Capacité thermique volumétrique	2.1 [MJ/(m <sup>3</sup> K)]
Température moyenne du terrain vers la surface	10 [°C]
Gradient de température géothermique	30 [K/km]

La température moyenne du terrain ( $T_{m\_ground}$ ) pour une couche de 180 m de profondeur est de 12.7 [°C].

## **2.3 Températures limites dans le circuit des sondes**

En extraction de chaleur, le dimensionnement doit respecter la valeur limite minimum fixée par la norme SIA 384/6 (2010) sur la température du fluide caloporteur. Celle-ci est définie par la moyenne des températures à l'entrée et à la sortie du circuit des sondes.

Température limite minimum du fluide caloporteur ( $T_{f\_min}$ )	<b>-1.5 [°C]</b>
---	------------------

Les valeurs minimums de température doivent être respectées aussi bien à court terme (1 année) qu'à long terme (50 ans) pour un fonctionnement normal du système. Elles conditionnent ainsi le dimensionnement de l'installation.

## **2.4 Outil de simulation**

L'outil de simulation utilisé est le module TRNSBM pour TRNSYS (Pahud, 2012), qui est la version TRNSYS (Klein et al., 2007) du programme SBM (Superposition Borehole Model, Eskilson 1986). Ce dernier a été utilisé pour la détermination des fonctions-g utilisées dans le programme EED (Earth Energy Designer).

Le deck TRNSYS développé dans le cadre du projet « Simulation d'installations géothermiques mesurées » (Pahud, 2015) est utilisé. Jusqu'à trois champs de sondes géothermiques peuvent être simulés et utilisés de façon indépendante, tandis que leurs interactions thermiques dans le terrain est prise en compte. Les profils d'utilisation des champs sont donnés en entrée avec les puissances thermiques en valeurs horaires à extraire ou à injecter dans les sondes, et le programme simule les évolutions des températures du fluide caloporteur qui en résultent sur un horizon temporel de 50 ans.

### 3 Résultats

#### 3.1 Dimensionnement d'une installation unique

Sans la prise en compte des installations voisines, le dimensionnement du champ de sondes requiert 1'080 m de sondes géothermiques, soit 6 sondes de 180 m de profondeur, placées selon une configuration en L et espacées par 8 m (cf. figure 2.3). L'évolution de la température du fluide est montrée dans la figure 3.1 pour les premiers 50 ans de fonctionnement de l'installation.

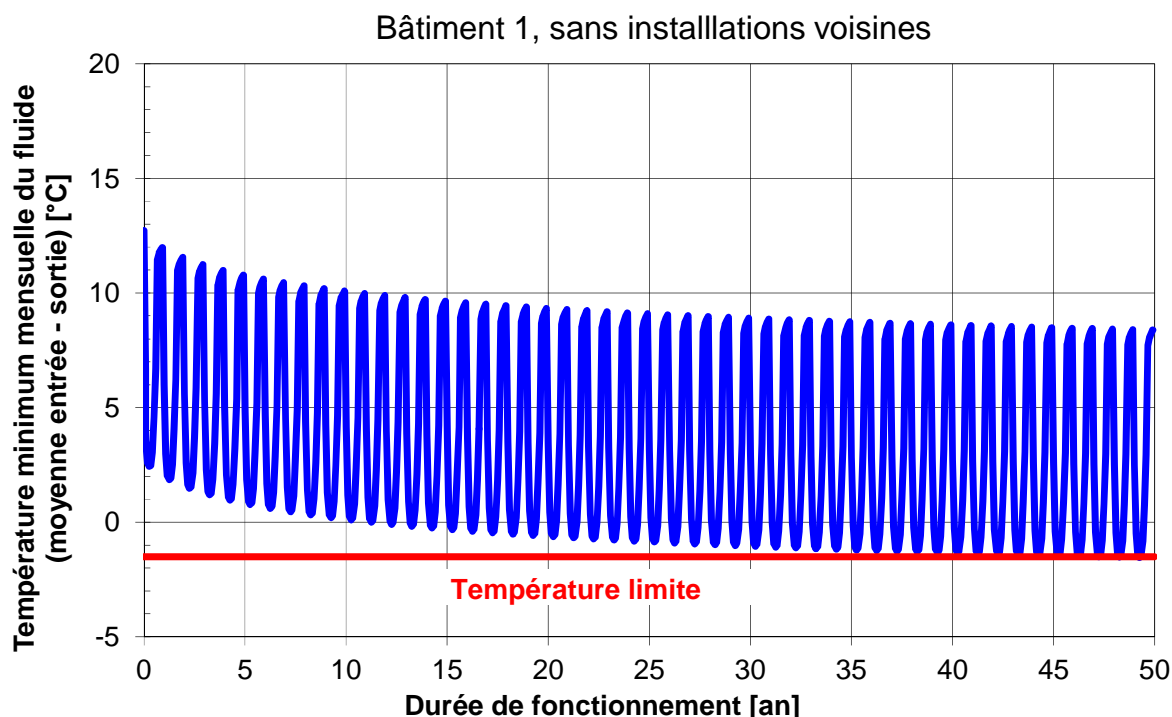


FIGURE 3.1: ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DU FLUIDE, MONTREE PAR SES VALEURS MINIMUMS MENSUELLES, DANS LE CAS D'UNE INSTALLATION GEOTHERMIQUE UNIQUE DANS LE QUARTIER.

Le dimensionnement exploite au maximum la **différence de température potentielle** à disposition pour l'extraction de chaleur. Cette dernière est calculée comme la différence entre la température moyenne initiale de la couche de terrain traversée par les sondes et la température minimum permise du fluide caloporteur circulant dans les sondes. Dans le cas présent, ces températures sont de respectivement +12.7°C ( $T_{m\_ground}$ ) et -1.5°C ( $T_{f\_min}$ ).

Différence de température potentielle ( $\Delta T_{potentiel}$ ) : **14.2 [K]**

On peut observer que pour passer le premier hiver la température du fluide descend à +2.4°C. Ceci permet de distinguer deux composantes dans l'abaissement effectif de la température du fluide ( $\Delta T_{effectif}$ ) : une différence de température saisonnière et une différence de température à long terme au bout de 50 ans :

Différence de température effective ( $\Delta T_{effectif}$ ) : **14.2 [K]**

Différence de température saisonnière ( $\Delta T_{saison}$ ) : **10.3 [K]**

Différence de température à long terme, 50ans ( $\Delta T_{long}$ ) : **3.9 [K]**



$$\Delta T_{\text{effectif}} = \Delta T_{\text{saison}} + \Delta T_{\text{long}} \quad (3.1)$$

Les différences de températures sont illustrées dans la figure 3.2.

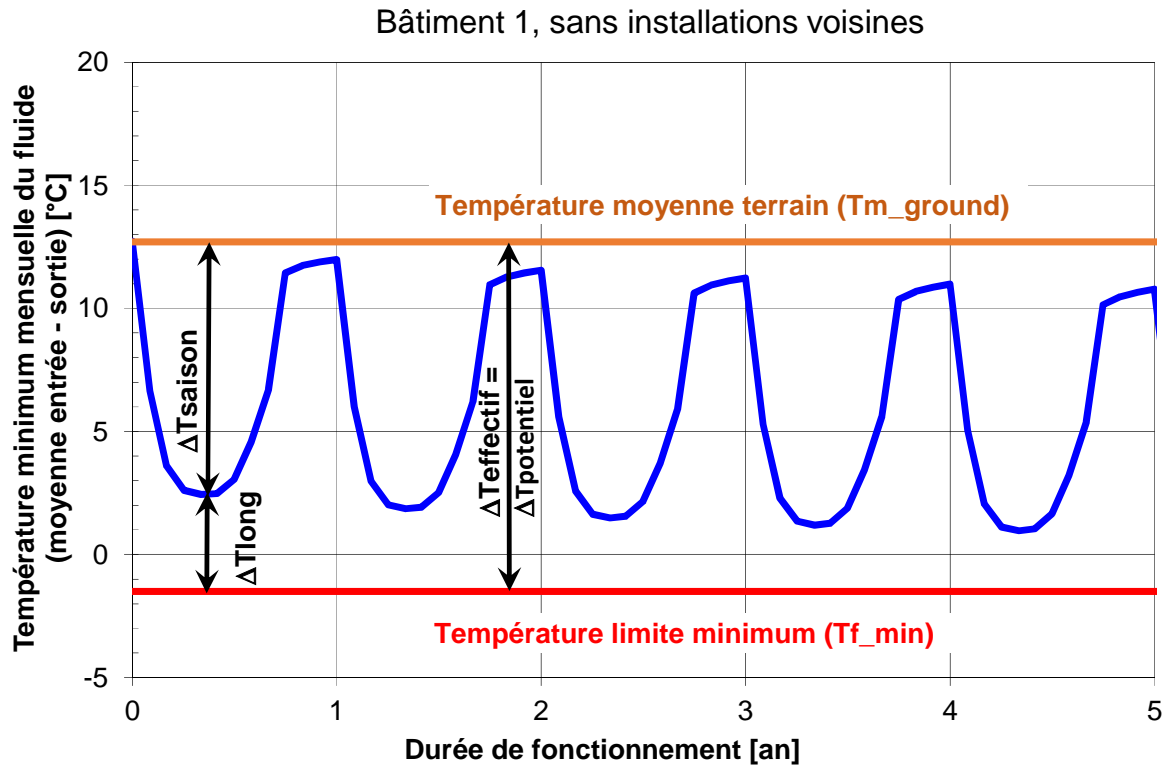


FIGURE 3.2: DIFFERENCES DE TEMPERATURE SIMULEES AVEC L'INSTALLATION 1, DIMENSIONNEE SANS L'INFLUENCE DES INSTALLATIONS VOISINES.

La différence de température à long terme résulte essentiellement de l'influence réciproque des sondes de l'installation sur un horizon temporel de 50 ans. Une recharge thermique complète du terrain permettrait de réduire à zéro cette différence de température.

### 3.2 Effet d'une installation voisine

En admettant que dans la parcelle voisine une autre installation géothermique soit présente, les deux champs de sondes géothermiques sont voisins et suffisamment proches pour s'influencer thermiquement après quelques années. Représentés dans la figure 3.2, la distance entre les deux axes principaux des configurations en « L » est de 35 m.

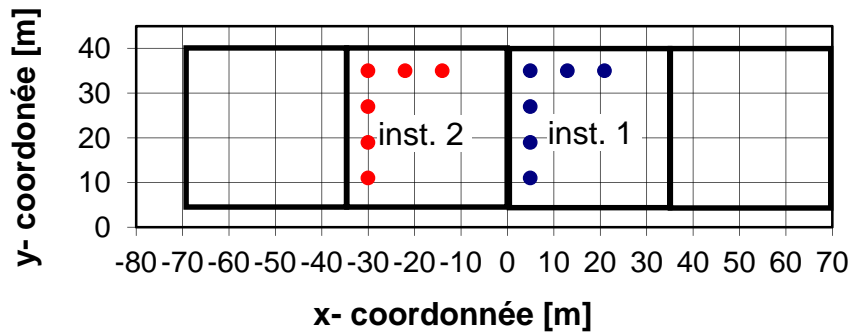


FIGURE 3.3: POSITION DES SONDES GEOTHERMIQUES DES DEUX INSTALLATIONS VOISINES. LES 6 SONDES DE CHAQUE INSTALLATION SONT PLACÉES SELON UNE CONFIGURATION DISSIPATIVE EN L.

En admettant que les deux installations sont démarrées en même temps, l'évolution de la température du fluide dans l'installation du bâtiment 1 est montrée dans la figure 3.2.

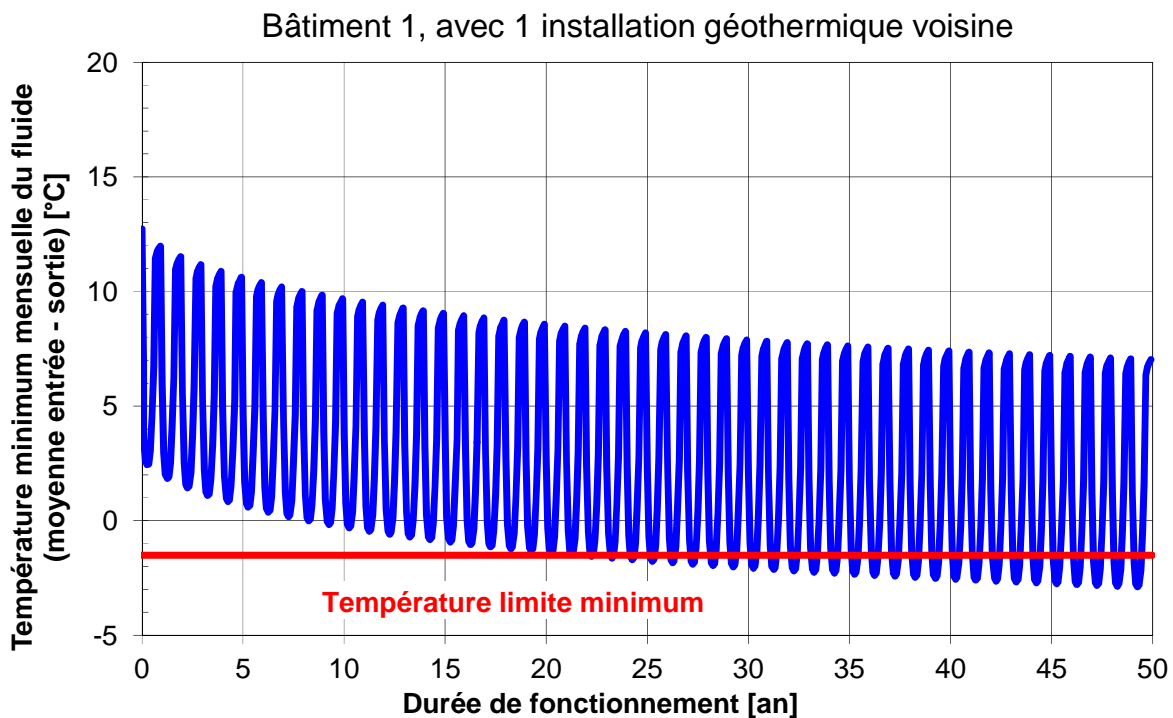


FIGURE 3.4: ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DU FLUIDE, MONTREE PAR SES VALEURS MINIMUMS MENSUELLES, DANS LE CAS DE DEUX INSTALLATIONS GEOTHERMIQUES VOISINES DANS LE QUARTIER.

A noter que par symétrie, la température du fluide dans l'installation voisine, dimensionnée et exploitée de manière identique, évolue exactement de la même façon.

La température minimum du fluide caloporteur descend à **-2.9°C** après 50 ans. L'abaissement de température supplémentaire de 1.4K ( $\Delta T_{\text{voisin}}$ ) est causé par l'interaction thermique entre les deux installations géothermiques. On peut également rapporter cet abaissement de température supplémentaire à la différence de température potentielle :

$$\Delta T_{\text{voisin}} / \Delta T_{\text{potentiel}} : \quad \quad \quad \mathbf{10 [\%]}$$

### **3.3 Dimensionnement en tenant compte de l'installation voisine**

Admettons que la deuxième installation soit planifiée immédiatement après la première. Selon la norme 384/6, le dimensionnement de celle-ci doit prendre en compte l'effet thermique de la première installation. Cela signifie que l'abaissement à long terme causé par l'installation voisine ( $\Delta T_{\text{voisin}}$ ) doit être compris dans la différence de température potentielle ( $\Delta T_{\text{potentiel}}$ ).

L'abaissement de la température du fluide qui conduit à la différence de température effective est proportionnel à la puissance spécifique d'extraction de pointe dans les sondes. Le facteur de proportionnalité, qui a la dimension d'une résistance thermique, résulte de la simulation du champ de sondes géothermiques de l'installation et de son utilisation. On peut rappeler que la différence de température effective ( $\Delta T_{\text{effectif}}$ ) correspond à l'abaissement maximum de la température du fluide circulant dans les sondes relativement à la température initiale du terrain sur un horizon temporel de 50 ans.

$$\Delta T_{\text{effectif}} = R q_{\text{max}} \quad (3.2)$$

R : facteur de proportionnalité résultant de l'extraction de la puissance de pointe de l'installation après 50 ans de service. R a la dimension d'une résistance thermique en [K/(W/m)].

Le dimensionnement de l'installation revient, pour une configuration de sondes fixée et une utilisation donnée de ces dernières (et en particulier de l'énergie annuelle extraite des sondes), à déterminer la puissance spécifique d'extraction de pointe qui ne crée pas une différence de température supérieure à la différence de température potentielle. C'est ainsi qu'il en résulte la longueur de sonde nécessaire :

$$q_{\text{max}} = P_{\text{max}} / H \quad (3.3)$$

$q_{\text{max}}$  : puissance spécifique d'extraction de pointe [W/m] ;

$P_{\text{max}}$  : puissance thermique maximum extraite du terrain pendant la période de pointe de chauffage [W] ;

H : longueur totale des sondes [m]. 6 sondes de 180 m font une longueur totale de 1'080 m.

En utilisant les équations 3.2 et 3.3 on obtient une relation entre la puissance maximum transférée et la différence de température effective, typique d'un échangeur de chaleur :

$$P_{\text{max}} = H/R \times \Delta T_{\text{effectif}} \quad (3.4)$$

On sait que l'installation, dimensionnée comme étant unique, conduirait à une différence de température effective égale à la différence de température potentielle sans les installations voisines. L'influence de l'installation voisine crée un abaissement supplémentaire de la température minimum du fluide. Ainsi, sans correction de longueur de sonde, l'équation 3.4 devient :

$$P_{\max} = H/R \times (\Delta T_{\text{potentiel}} + \Delta T_{\text{voisin}}) \quad (3.5)$$

Il s'agit de trouver la longueur de sonde nécessaire ( $H'$ ), de façon à ce que l'abaissement de température maximum n'excède pas la différence de température potentielle :

$$P_{\max} = H'/R \times (\Delta T_{\text{potentiel}}) \quad (3.6)$$

On trouve alors la correction à apporter sur la longueur de sonde pour tenir compte de l'installation voisine :

$$H' = H \times (1 + \Delta T_{\text{voisin}}/\Delta T_{\text{potentiel}}) \quad (3.5)$$

Dans le cas qui nous intéresse, il s'agit de rajouter 10% à la longueur des sondes. Avec 6 sondes de 196 m au lieu de 180 m, le dimensionnement de l'installation 2 tient compte de l'installation 1. La figure 3.5 permet de montrer l'évolution de la température minimum du fluide qui en résulte.

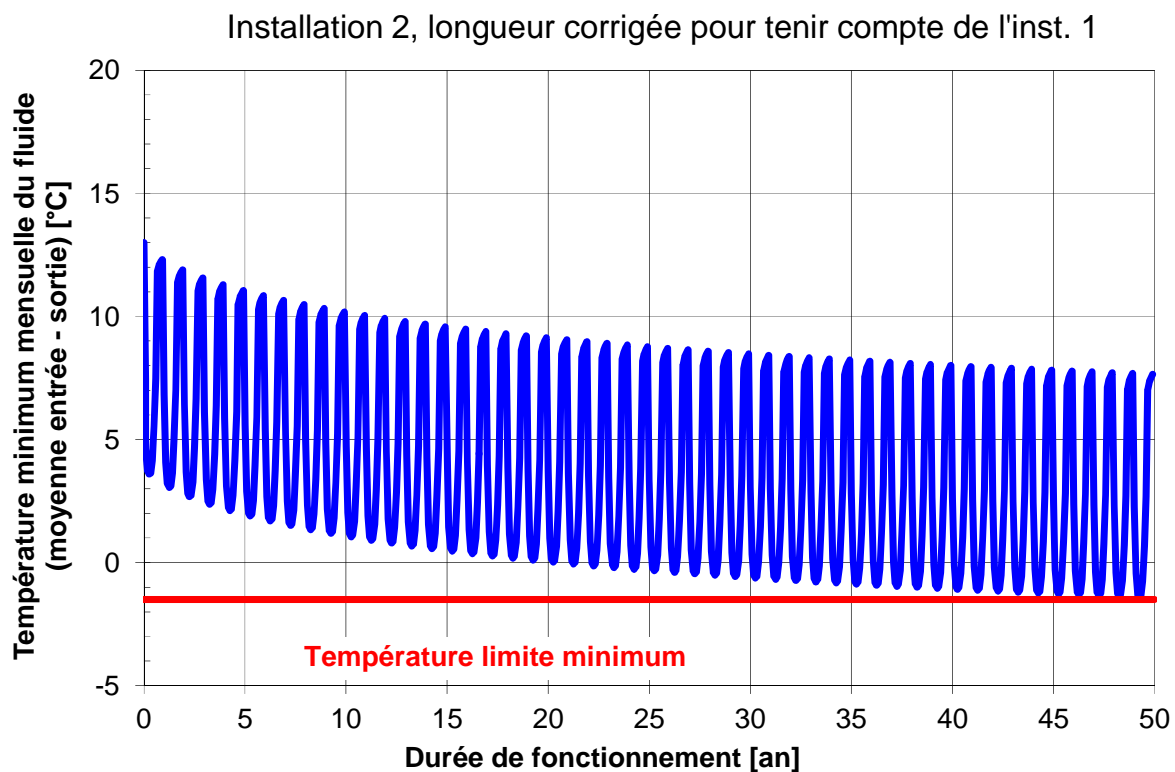


FIGURE 3.5: ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DU FLUIDE, MONTREE PAR SES VALEURS MINIMUMS MENSUELLES, POUR L'INSTALLATION 2 DIMENSIONNEE EN TENANT COMPTE DE L'INSTALLATION 1.

A noter que l'installation 1, dimensionnée sans tenir compte de l'installation 2 (cas où l'installation 2 a été planifiée ensuite), subit les effets à long terme de l'installation 1 comme présenté dans la section 3.2. Il y a certes une petite différence, car cette fois les sondes de l'installation 2 sont un peu plus profondes et touchent un volume de terrain un peu plus grand, mais elle reste très faible. Après 50 ans, la température minimum du fluide descend à  $-2.8^{\circ}\text{C}$  au lieu de  $-2.9^{\circ}\text{C}$  dans l'installation 1, alors qu'elle a été dimensionnée pour avoir une température de fluide qui ne descende pas en dessous de  $-1.5^{\circ}\text{C}$ .

### 3.4 Recharge thermique du terrain

Le propriétaire de l'installation 1 n'a pas d'autre choix que de faire une recharge thermique du terrain lorsque la température du fluide devient trop basse, c'est-à-dire après une vingtaine d'années. La recharge thermique donnée dans la section 2.1 est appliquée à l'installation 1 après 20 ans. Les résultats sont montrés dans la figure 3.6.

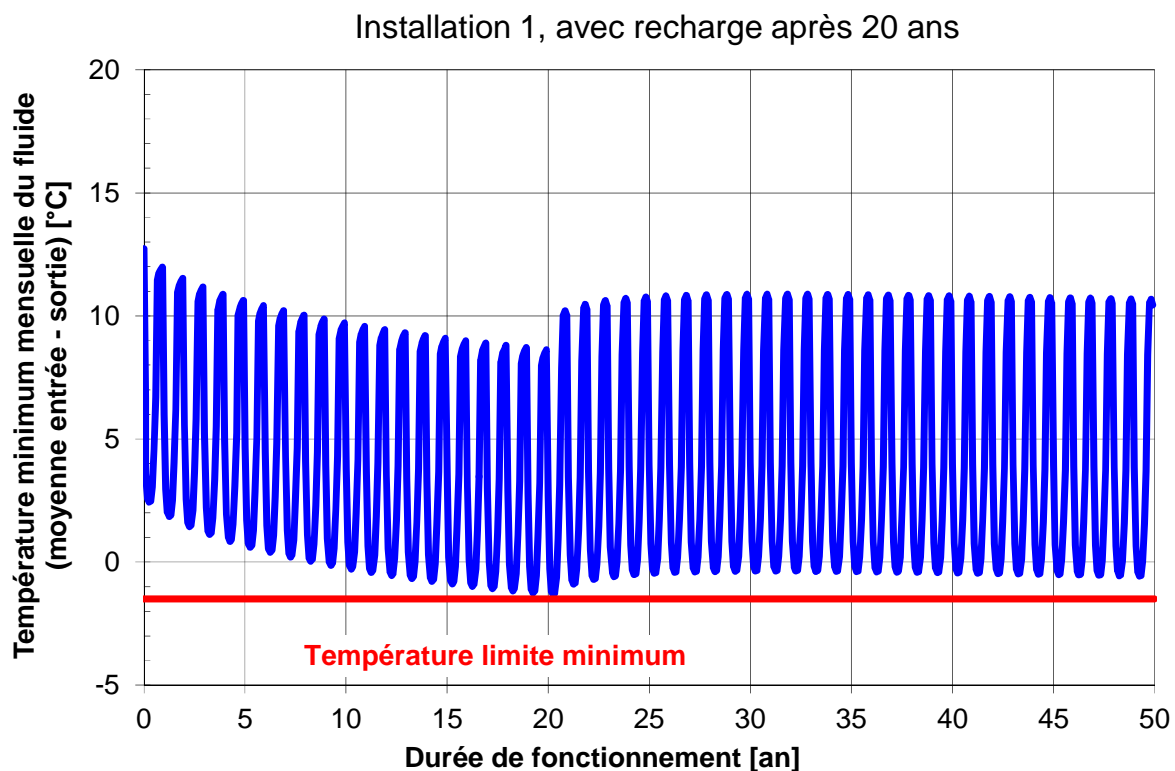


FIGURE 3.6: INSTALLATION 1, DIMENSIONNÉE SANS L'EFFET DE L'INSTALLATION VOISINE, AVEC RECHARGE THERMIQUE APRES 20 ANS.

La recharge thermique permet de rétablir la situation. Dans ce cas elle est même plus importante que le strict nécessaire, et porte la température minimum du fluide après 50 ans à  $-0.6^{\circ}\text{C}$  au lieu de  $-2.8^{\circ}\text{C}$ .

La recharge thermique de l'installation 1 a pour effet de diminuer son influence thermique sur les sondes dans le voisinage. Ainsi l'installation 2 subira une influence plus faible, ce qui se traduit par une température minimum du fluide moins basse après 50 ans. Elle est simulée à  $-0.9^{\circ}\text{C}$  au lieu de  $-1.4^{\circ}\text{C}$ .

L'effet de la recharge thermique est évidemment beaucoup plus important sur l'installation 1 que l'installation 2. L'augmentation de la température minimum du fluide est, dans ce cas, environ 4 fois plus important sur l'installation 1 (+2.2K) que sur l'installation 2 (+0.5).

Ainsi deux conclusions peuvent être formulées :

- une recharge thermique du terrain, dans un contexte d'influence à long terme de sondes géothermiques, bénéficie avant tout à l'installation qui la réalise ;
- la chaleur réinjectée dans le terrain, pour une recharge thermique inférieure à 100%, ne sera pas volée par les installations voisines. La recharge thermique permet tout au plus de réduire l'impact thermique de l'installation qui la pratique sur les installations voisines.

### 3.5 Effet de quartier

On suppose que l'installation géothermique est répliquée dans toutes les parcelles qui entourent les deux installations géothermiques. Cette situation, inspirée d'un cas réel, correspond à une densité de sondes géothermiques extrêmement élevée. Le nombre d'installations géothermiques s'élève à 12 et le nombre de sondes à 72 (cf. figure 3.7).

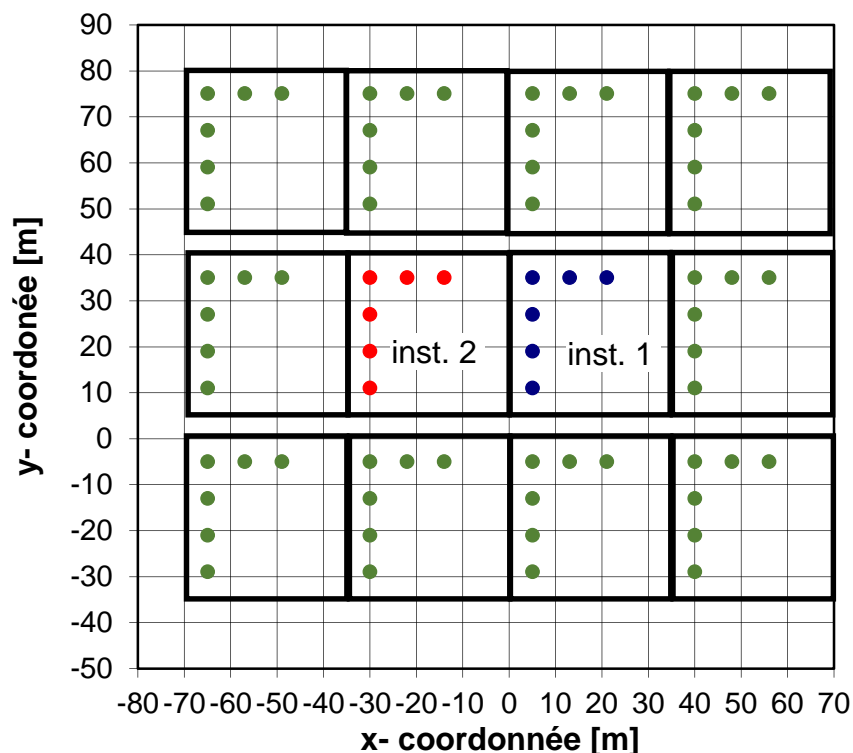


FIGURE 3.7: POSITION DES SONDES GEOTHERMIQUES DES DOUZE INSTALLATIONS GEOTHERMIQUES DANS LE QUARTIER. LES 6 SONDES DE CHAQUE INSTALLATION SONT PLACES SELON UNE CONFIGURATION EN L.

En admettant que toutes les installations sont dimensionnées comme si elles étaient uniques et qu'elles sont démarrées en même temps, l'évolution de la température du fluide dans l'installation 1 est montrée dans la figure 3.8.

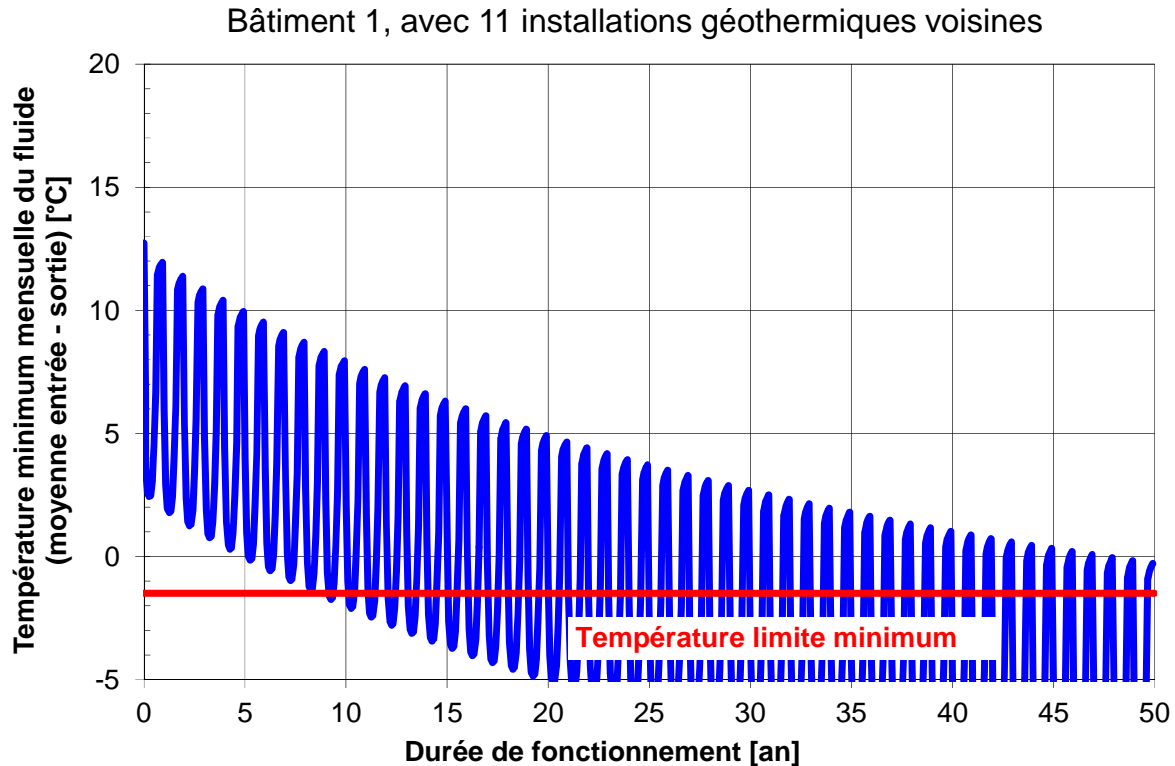


FIGURE 3.8: ÉVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE DU FLUIDE, MONTREE PAR SES VALEURS MINIMUMS MENSUELLES, DANS LE CAS DE DOUZE INSTALLATIONS GÉOTHERMIQUES VOISINES DANS LE QUARTIER.

A noter que par symétrie, la température du fluide dans l'installation voisine, dimensionnée et exploitée de manière identique, évolue exactement de la même façon.

La température minimum du fluide caloporteur descend à **-10.1°C** après 50 ans. L'abaissement de température supplémentaire de 8.6K ( $\Delta T_{\text{voisin}}$ ) est causé par l'interaction thermique des autres installations géothermiques. Rapporté à la différence de température potentielle, on a vu que le pourcentage obtenu donne l'augmentation de longueur de sondes géothermiques nécessaire pour tenir compte des installations voisines dans le dimensionnement :

$$\Delta T_{\text{voisin}} / \Delta T_{\text{potentiel}} : \quad \quad \quad \mathbf{60 [\%]}$$

La longueur des sondes des installations 1 et 2 devrait être augmentée de 60% pour tenir compte de toutes les installations voisines. Dans la figure 3.9, l'évolution de la température minimum du fluide est montrée pour une profondeur de 289 m des sondes de l'installation 1.

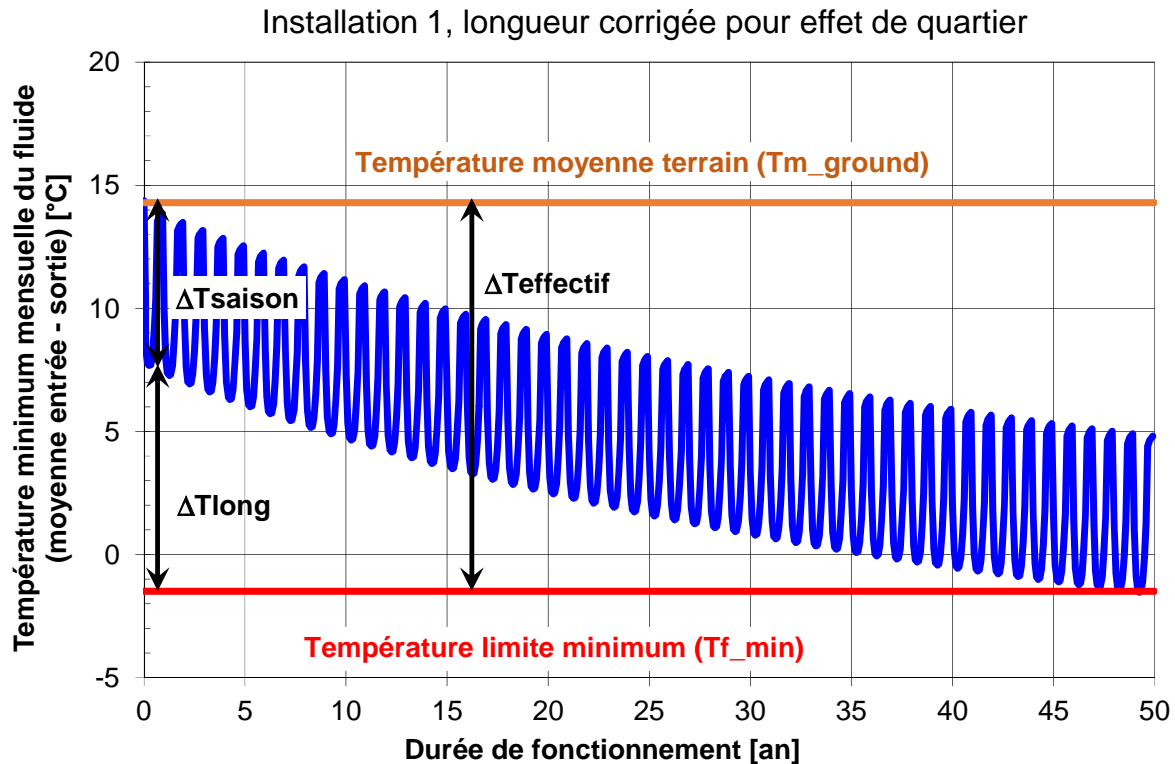


FIGURE 3.9: EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DU FLUIDE, MONTREE PAR SES VALEURS MINIMUMS MENSUELLES, POUR L'INSTALLATION 1 DIMENSIONNEE EN TENANT COMPTE DES 11 INSTALLATIONS VOISINES.

Comme les sondes sont plus profondes, la différence de température potentielle est légèrement plus grande en raison de la température moyenne du terrain plus élevée (14.3°C). On peut observer que pour passer le premier hiver la température minimum du fluide ne descend pas à moins de +7.7°C. Ceci résulte de l'échangeur de chaleur que forment les sondes et le terrain qui est beaucoup plus grand, permettant ainsi de réduire la différence de température requise pour l'extraction de la puissance thermique. Ceci est nécessaire pour prendre en compte l'abaissement important de la température du terrain au cours des années ( $\Delta T_{\text{long}}$  élevé). On observe un renversement dans les différences de température relativement à la situation où l'installation est unique.

Différence de température effective ( $\Delta T_{\text{effectif}}$ ) :	<b>15.8 [K]</b>
Différence de température saisonnière ( $\Delta T_{\text{saison}}$ ) :	<b>6.6 [K]</b>
Différence de température à long terme, 50ans ( $\Delta T_{\text{long}}$ ) :	<b>9.2 [K]</b>

La solution d'augmenter la longueur des sondes dans le cas d'un quartier avec une densité de sondes géothermiques élevées pour l'extraction de chaleur montre clairement qu'elle n'est pas pérenne dans le temps.

Dans le cas où l'installation 1 serait dimensionnée comme si elle était unique, le propriétaire devrait recharger le terrain après 8 ans déjà (cf. fig. 3.8). La figure 3.10 permet de montrer l'effet d'une recharge thermique réalisée uniquement sur l'installation 1, de même importance que celle qui est donnée dans la section 2.1.



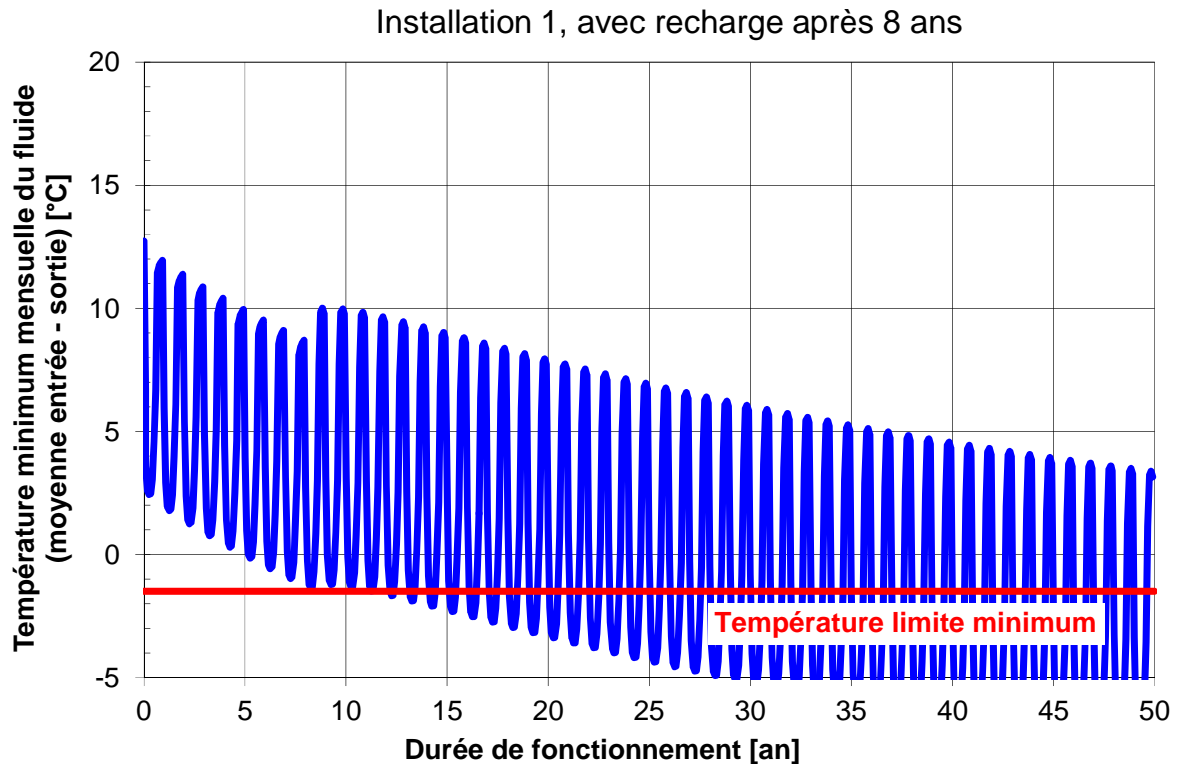


FIGURE 3.10: INSTALLATION 1, DIMENSIONNÉE SANS L'EFFET DES INSTALLATIONS VOISINES, AVEC RECHARGE THERMIQUE APRES 8 ANS.

La recharge thermique ne permet pas de rétablir la situation dans ce cas particulier. La recharge devrait être beaucoup plus importante pour remonter la température du terrain localement. Ceci se traduirait en contrepartie par des puissances thermiques à injecter dans les sondes très élevées, risquant de porter le fluide caloporteur à des températures beaucoup trop hautes.

La recharge est donc un effort collectif pour lequel tout le monde devrait pouvoir participer. Le cas où la recharge thermique, telle que pratiquée pour l'installation 1, est réalisée pour toutes les installations dès la 8<sup>e</sup> année de fonctionnement, est montré dans la figure 3.11.

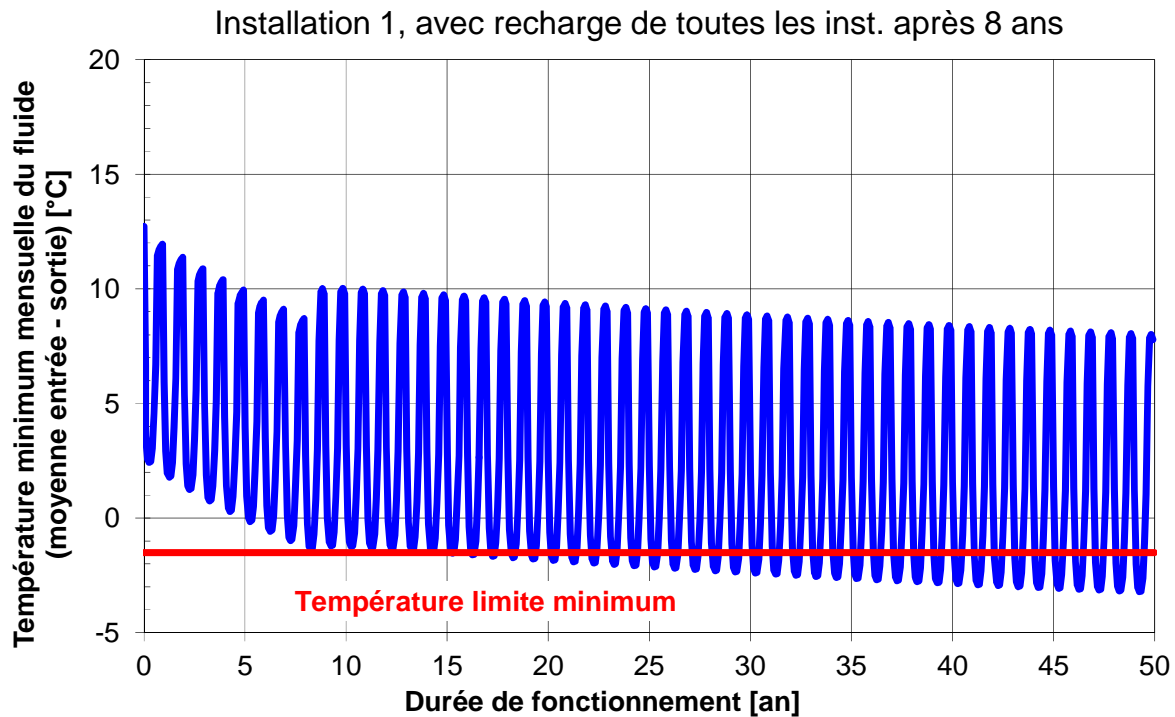


FIGURE 3.11: INSTALLATION 1, DIMENSIONNÉE SANS L'EFFET DES INSTALLATIONS VOISINES, AVEC RECHARGE THERMIQUE DE TOUTES LES INSTALLATIONS APRES 8 ANS.

La situation est presque rétablie. La recharge thermique des installations n'est juste pas assez importante pour maintenir la température du fluide au-dessus de sa valeur minimum permise.

La recharge thermique simulée permet de réaliser un taux de recharge du terrain de 60% pour chaque installation. On observe que dans la situation du quartier, ce taux de recharge n'est juste pas suffisant.

Ceci montre bien qu'à mesure que la zone dans laquelle se trouve une densité de sondes élevée s'élargit, une recharge thermique de plus en plus importante devient nécessaire pour ne pas épuiser la ressource géothermique.

## 4 Conclusions

Un champ de sondes géothermiques exploite l'énergie thermique de deux façons :

- une composante « ressource géothermique » ;
- une composante « stockage thermique », généralement faite à l'échelle saisonnière.

Cette étude a montré que la composante « ressource géothermique », prédominante avec des installations isolées, laisse peu à peu la place à la composante « stockage thermique » à mesure que le nombre d'installations augmente dans un territoire donné, dont la taille est de l'ordre d'un quartier ou plus.

On sait que l'influence thermique d'une sonde sur une autre dépend très fortement de leur éloignement, et l'effet n'est pas linéaire ni dans l'espace ni dans le temps. Cependant on peut affirmer que deux sondes ne s'influenceront jamais si leur éloignement est supérieur à leur profondeur. Ceci permet de délimiter la zone à prendre en considération pour l'analyse des influences à long terme des installations voisines. D'autre part l'effet devient toujours plus important avec un éloignement qui se réduit. On ne peut pas accepter que des sondes d'une installation soient posées à quelques mètres

seulement de sondes d'un autre champ, à moins que ceci soit intégré et prévu dans le dimensionnement des deux installations. L'éloignement minimum entre deux sondes de champs voisins est de 16 m dans cette étude. Dans ce cas l'effet des installations voisines reste inférieur à 1 K durant les 5 premières années de fonctionnement des installations.

On a vu que l'influence à long terme des installations voisines sur une installation donnée se traduit par un abaissement supplémentaire de la température minimum du fluide. La règle du « first come first served » ne fonctionne pas, car si de nouvelles installations peuvent tenir compte des installations existantes, l'inverse n'est généralement pas possible. Il est cependant important de pouvoir dimensionner une installation en tenant compte des installations futures ou en prenant des dispositions pour adapter l'installation si nécessaire. Si l'on peut prédire et contenir quel sera l'abaissement de température supplémentaire à prendre en considération ( $\Delta T_{\text{voisin}}$ ), alors on peut dimensionner l'installation comme si elle était unique, mais avec une température limite minimum augmentée de l'effet à long terme des installations voisines ( $+\Delta T_{\text{voisin}}$ ).

L'influence à long terme d'une installation sur une autre dépend directement de l'exploitation de la ressource géothermique. L'étude a montré que plus la densité de sondes et le nombre d'installations sont élevés, moins la ressource géothermique peut être exploitée par chaque installation. Une manière de la limiter et de contrôler son utilisation est de prévoir une recharge thermique. A partir du moment où l'on peut fixer quelle quantité de ressource géothermique il est possible d'utiliser, on sait quelle recharge thermique il sera nécessaire de prévoir pour l'utilisation des sondes que l'on désire.

En définitive, les trois critères en jeux sont :

- 1) Distance minimum entre sondes de deux champs (à moins que ce soit spécifiquement pris en compte dans le dimensionnement) ;
- 2) Elévation de la température de fluide minimum pour le dimensionnement de l'installation, de façon à anticiper les effets à long terme des installations voisines ;
- 3) Limitation de l'extraction de la ressource géothermique par installation, afin de limiter et contenir les effets à long terme sur les installations voisines.

Les critères 2 et 3 vont au-delà des compétences propres de l'ingénieur, car une projection future des sondes qui vont être installées dans le quartier et de leur utilisation est nécessaire.

## 5 Références

Eskilson P. (1986): Superposition Borehole Model. Manual for Computer Code. Department of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.

Klein S. A. et al. (2007): TRNSYS. A Transient System Simulation Program. Version 16.1. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA.

Pahud D. (2012): The Superposition Borehole Model for TRNSYS 16 or 17 (TRNSBM). User Manual for the April 2012 Version. Internal Report. ISAAC - DACD- SUPSI, Switzerland.

Pahud D. (2015): Simulations de champs de sondes géothermiques mesurés. Programme SuisseEnergie, Office Fédéral de l'Energie, Berne, Suisse.

SIA Norme 384/6 (2010): Sondes géothermiques. Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, Suisse.