

Sept  
2019

---

# BOITE A OUTILS TECHNIQUES

**GÉOTHERMIE DE SURFACE (ou  
géothermie très basse énergie)**

---

A destination des bureaux d'études et  
d'ingénierie

---

## NOTICE DESCRIPTIVE

**ADEME**

Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

En partenariat avec :



## REMERCIEMENTS

Le Service Réseaux et Energies Renouvelables (SRER) de l'ADEME remercie tous ceux qui ont participé à la rédaction et à l'enrichissement de cette boîte à outils techniques :

- Anthony Dumoulin (S2T INGENIERIE) et Olivier Grière (G2H CONSEILS) qui ont été missionnés par le SRER pour mener ce projet ;
- Xavier Moch (AFPG), Jean-Marc Percebois (ACCENTA/AFPG), Eric Garroustet (COTRASOL/SFEG), Pierre Durst (BRGM), Dominique CENA (CENA INGENIERIE/CINOV), Robin Apolit (SER), Florent Dupuis (ADEME Hauts de France), Hakim Hamadou (ADEME Auvergne Rhône-Alpes), Jean-François Niveleau (ADEME Occitanie), Axel Wyckhuysse (ADEME Grand Est) pour leurs contributions et relecture de cette boîte à outils.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

### **Ce document est diffusé par l'ADEME**

20, avenue du Grésillé

BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

**Numéro de contrat : 18MAR000159**

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : S2T INGENIERIE et G2H CONSEILS

**Coordination technique - ADEME :** CARDONA MAESTRO Astrid

Direction/Service : Réseaux et Energies Renouvelables



# SOMMAIRE

<b>1. Introduction .....</b>	<b>5</b>
1.1. <i>Contexte du projet</i> .....	5
1.2. <i>Objectif de la note</i> .....	5
<b>2. Configurations envisagées .....</b>	<b>6</b>
<b>3. DISTRIBUTION : besoins énergétiques du site et utilisation .....</b>	<b>7</b>
3.1. <i>Différents types de besoins</i> .....	7
3.1.1. Chauffage .....	7
3.1.2. Eau Chaude Sanitaire (ECS).....	7
3.1.3. Climatisation .....	7
3.1.4. Rafraîchissement.....	7
3.2. <i>Dimensionnement d'une installation</i> .....	8
<b>4. RESSOURCE ENERGETIQUE – Solutions sous-sol .....</b>	<b>9</b>
4.1. <i>CAS N : Géothermie sur nappe</i> .....	9
4.1.1. Ecartement des forages.....	9
4.1.2. Dimensionnement et design des forages .....	11
1. Dimensionnement des forages :.....	11
2. Réalisation des forages : .....	12
4.1.3. Réalisation des forages .....	18
4.1.4. Equipement des forages.....	19
4.2. <i>CAS S : Géothermie sur sondes géothermiques</i> .....	28
4.2.1. Implantation et détermination du nombre de sondes géothermiques .....	28
4.2.2. Le Test de réponse Thermique (TRT) .....	31
4.2.3. Réalisation des sondes.....	33
4.2.4. Limites de prestation du foreur réalisant les sondes .....	34
4.2.5. Localisation des sondes .....	35
4.2.6. Modification de la profondeur d'une ou plusieurs sondes en cours de travaux .....	35
<b>5. PRODUCTION – Solutions Surface .....</b>	<b>36</b>
5.1. <i>CAS RAF : Rafraîchissement</i> .....	36
5.1.1. Applications.....	36
5.1.2. Remarques générales .....	36
5.1.3. Instrumentation .....	36
5.1.4. Utilisation .....	36
5.1.5. Appoint.....	36
5.2. <i>CAS PAC : Pompe A Chaleur</i> .....	37
5.2.1. Applications.....	37
5.2.2. Remarques générales .....	37
5.2.3. Instrumentation .....	37
5.2.4. Utilisation .....	37
5.2.5. Appoint.....	38
5.2.6. Réglementation.....	38
5.3. <i>CAS PAC2 : 2 Pompes A Chaleur à niveaux de températures différents</i> .....	39
5.3.1. Applications.....	39
5.3.2. Remarques générales .....	39
5.3.3. Instrumentation .....	39
5.3.4. Utilisation .....	39
5.3.5. Appoint.....	40
5.3.6. Réglementation.....	40



<b>5.4. CAS TFP : Thermo-Frigo-Pompe – Chaud/Froid combiné.....</b>	<b>41</b>
5.4.1. Applications.....	41
5.4.2. Remarques générales .....	41
5.4.3. Instrumentation .....	41
5.4.4. Utilisation .....	42
5.4.5. Appoint.....	44
5.4.6. Réglementation.....	45
<b>5.5. Points critiques des installations de surface .....</b>	<b>46</b>
5.5.1. Pompe A Chaleur.....	46
5.5.2. Antigel .....	46
5.5.3. Ballon tampon .....	46
5.5.4. Auxiliaires.....	46
5.5.5. Automatisme et Régulation.....	47

# 1. Introduction

---

## 1.1. Contexte du projet

Des études récentes menées par l'ADEME ont montré la nécessité de mettre à disposition des acteurs des documents et outils techniques détaillés afin de garantir la qualité de mise en œuvre des installations de géothermie de surface, leur bon fonctionnement ainsi que leurs performances techniques, économiques et environnementales.

Les **documents et outils techniques détaillés** qui ont été développés dans le cadre de ce projet concerne principalement les **installations de géothermie sur nappe d'eau superficielle et sur champ de sondes dans les secteurs du logement collectif et tertiaire (voire industriel et agricole)**.

Ils sont destinés en priorité à **L'INGENIERIE et aux BUREAUX D'ETUDES**.

## 1.2. Objectif de la note

Le présent document **NOTICE DESCRIPTIVE** fait partie de la boîte à outils techniques et a pour objectifs de :

- Détailler les principales configurations d'installations de géothermie de surface rencontrées dans l'habitat collectif et le tertiaire
- Présenter les points techniques critiques de ces installations dans les phases de conception, réalisation puis de suivi d'exploitation.

La **SCHEMATHEQUE** associée à ce document donne ainsi une base de travail pour la mise en oeuvre d'une installation de géothermie très basse énergie.



## 2. Configurations envisagées

L'utilisation de la géothermie de surface est possible pour de nombreuses applications dans les secteurs du logement collectif, tertiaire, industriel et agricole, en fonction des besoins énergétiques du site qu'il est envisagé d'alimenter. Selon la ressource sous-sol disponible, le recours à cette énergie pourra couvrir tout ou partie des besoins du site, qu'il s'agisse de chaud ou de froid.

Le présent guide a été construit de la façon suivante :

- Recherche et identification des besoins énergétiques du site côté distribution : DISTRIBUTION
- Recherche et identification de la ressource énergétique sous-sol disponible : RESSOURCE
- Adéquation entre la ressource sous-sol et les besoins du site : PRODUCTION

Ainsi, ces 3 catégories permettent de dresser l'ensemble des possibilités qui sont offertes.

Pour plus de lisibilité et de confort d'utilisation, les schémas sont déclinés selon ces 3 catégories :

- RESSOURCE
- PRODUCTION
- DISTRIBUTION

qui, mis bout à bout permettent de disposer d'un schéma global de l'installation.

Le tableau ci-après regroupe les configurations développées dans chaque cas, leur combinaison permettant d'aboutir à un schéma global.

Catégorie	RESSOURCE	PRODUCTION	DISTRIBUTION
Code	<b>RES</b>	<b>PROD</b>	<b>DISTR</b>
Schémas proposés	<b>NAP</b> Nappe aquifère superficielle	<b>RAF*</b> Rafraîchissement	<b>CH</b> Chauffage
	<b>SON</b> Sondes géothermiques	<b>PAC</b> Pompe A Chaleur	<b>ECS</b> Eau Chaude Sanitaire
		<b>PAC2</b> 2 Pompes A Chaleurs à 2 niveaux de température	<b>PRE</b> Préchauffage Eau Chaude Sanitaire
		<b>TFP</b> Thermo-Frigo-Pompe	<b>FR</b> Froid / Climatisation

\*RAF : le rafraîchissement est traité de manière particulière dans la mesure où :

- La distribution est intégrée dans le schéma
- Il peut être combiné à un autre schéma de PRODUCTION, avec un piquage en aval de l'échangeur géothermal pour réaliser par exemple pour la même installation, du chauffage ou du froid et du rafraîchissement

La **SCHEMATHEQUE** associée à ce document donne ainsi une base de travail pour la conception d'une installation de géothermie très basse énergie.

## 3. DISTRIBUTION : besoins énergétiques du site et utilisation

---

### 3.1. Différents types de besoins

Plusieurs types de besoins énergétiques sont considérés à ce stade :

- Chauffage
- Eau Chaude Sanitaire (ECS)
- Climatisation
- Rafraîchissement

On distingue la climatisation du rafraîchissement :

- Le **rafraîchissement** est une application de base en **échange direct** qui permet d'offrir du rafraîchissement gratuit dit « **géo-cooling** » ou « free-cooling » puisqu'elle ne nécessite par la présence (ou le fonctionnement) d'une Pompe A Chaleur et donc aucune consommation d'électricité autre que celle des auxiliaires (pompes principalement).
- A l'inverse, la **climatisation** est une application de **froid actif** (avec contrôle et régulation de la température et du taux d'humidité), qui nécessite l'utilisation d'une machine Thermodynamique (Pompe A Chaleur) pour être produit et donc une consommation d'électricité supplémentaire.

#### 3.1.1. Chauffage

Pour des besoins en chauffage, **la loi d'eau sera primordiale** dans l'évaluation des moyens de production à mettre en œuvre. De ce niveau de température dépendra le type production et son articulation avec la production d'Eau Chaude Sanitaire le cas échéant. On cherchera toujours à optimiser la température de départ et le type d'émetteurs à mettre en œuvre (par exemple : plancher ou plafond chauffant, panneaux rayonnants).

Dans le cas d'un bâtiment avec plusieurs départs à des niveaux de température différents, on cherchera à réguler les températures de départ des réseaux à plus faibles températures pour optimiser les températures de retour.

=> le schéma CH peut être utilisé

#### 3.1.2. Eau Chaude Sanitaire (ECS)

L'Eau Chaude Sanitaire (ou ECS) doit avoir **une température minimale de 55°C au secondaire de l'échangeur** pour éviter le risque de légionellose et les risques de brûlure (conformément à l'Arrêté du 30 novembre 2005 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public).

Pour cela, une **température côté primaire de 58 à 60°C** (selon le pincement de l'échangeur) **est requise**.

Deux cas se présentent :

- La température de la production géothermique (et son éventuel appoint) est toujours supérieure à cette température et l'Eau Chaude Sanitaire peut ainsi être produite directement  
=> le schéma ECS peut alors être utilisé
- La température de la production géothermique n'est pas toujours supérieure à cette température et dans ce cas, seul un préchauffage de l'Eau Chaude Sanitaire peut être considéré  
=> le schéma PRE peut alors être utilisé.

#### 3.1.3. Climatisation

Pour des besoins en climatisation, on cherchera à optimiser la température de départ (la plus haute possible) et le type d'émetteurs à mettre en œuvre.

Dans le cas d'un bâtiment avec plusieurs départs à des niveaux de température différents, on cherchera à augmenter les températures de départ des réseaux à plus faibles températures pour optimiser les températures de retour.

=> le schéma FR peut être utilisé

#### 3.1.4. Rafraîchissement

Cette configuration impose un usage à la température de la ressource qui est en général comprise entre 8 et 15°C.



Les émetteurs doivent donc être adaptés à la température de la ressource qui ne peut être régulée. Il s'agira donc majoritairement d'usages pour des logements (avec émetteurs de type plancher rafraîchissant par exemple) ou locaux tertiaires (avec émetteurs de type poutres froides par exemple).

Un arrêt du système l'hiver devra faire preuve de nombreuses précautions afin de ne pas endommager les équipements (vidanges par exemple pour éviter le gel).

=> le schéma RAF peut être utilisé

### **3.2. Dimensionnement d'une installation**

Il est rappelé ici que le dimensionnement d'une installation de géothermie est primordial pour assurer son bon fonctionnement.

Pour cela, une **étude de faisabilité** (selon les cahiers des charges proposés sur le site DIAGADEME) est en général menée en amont de la conception d'un projet de géothermie très basse énergie.

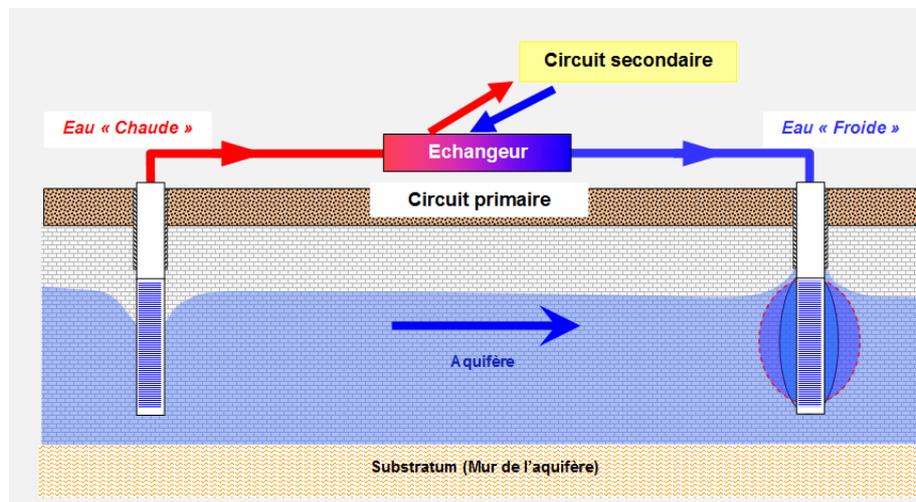
L'une de ses conclusions consiste en la détermination de l'optimum technico-économique du dimensionnement du système ressource-production en fonction des besoins thermiques du site (en chaud et éventuellement en froid). Une monotone des besoins est pour cela réalisée. Si ceux-ci ont évolué, il est nécessaire de mettre à jour cette étude de dimensionnement des phases de conception de l'installation afin de s'assurer que le dimensionnement sera adapté aux besoins.

En effet, un dimensionnement pour couvrir 100% des besoins n'est pas toujours nécessaire, ni optimal, et peut parfois être problématique :

- La présence d'un appoint permet de couvrir une puissance résiduelle :
  - o A puissance équivalente, un système d'appoint sera moins onéreux en investissement et permet de conserver un taux de couverture élevé du système géothermique
  - o Il pourra également servir de secours – éventuellement partiel – en cas de maintenance ou panne sur le système géothermique
- En cas de variation importante des besoins, un surdimensionnement d'une machine thermodynamique (PAC) impliquera un fonctionnement à bas régime : une attention sur le minimum technique est à prévoir lors de la sélection de la machine, celui-ci étant généralement compris entre 30 et 50% de la puissance nominale.

## 4. RESSOURCE ENERGETIQUE – Solutions sous-sol

### 4.1. CAS N : Géothermie sur nappe

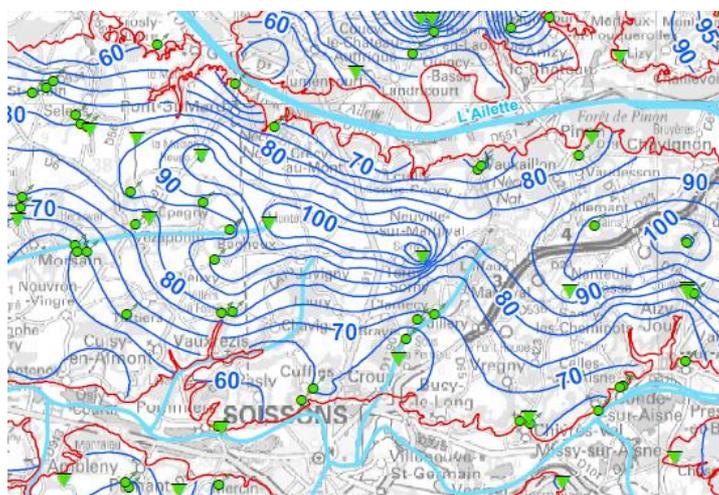


*Principe du doublet de forages sur nappe*

#### 4.1.1. Ecartement des forages

L'écartement entre le forage de production et le forage d'injection doit être étudié pour éviter ou à minima réduire les phénomènes de recyclage thermique. La connaissance des besoins thermiques est indispensable car le recyclage est notamment fonction du volume d'eau extrait annuellement sur la nappe.

**Le forage d'injection doit être positionné en aval de l'écoulement de la nappe.** Il est nécessaire de connaître la piézométrie locale de la nappe concernée.



*Exemple de carte piézométrique*

Pour certaines nappes, il existe des cartes piézométriques plus ou moins récentes. Ces cartes sont consultables au BRGM ou sur les sites Internet tels que SIGES Seine-Normandie pour le territoire couvert par l'Agence Seine Normandie.

Dans la mesure du possible, il est souhaitable d'effectuer un relevé piézométrique sur des forages proches du projet captant l'aquifère cible.

Pour éviter le recyclage, l'écartement nécessaire peut être déterminé selon la formule suivante :

$$L > 2Q/T\pi$$



Avec :

- L : écartement nécessaire en mètre,
- T : transmissivité de l'aquifère en m<sup>2</sup>/s,
- Q : Débit pompé en m<sup>3</sup>/s,
- i : gradient hydraulique de la nappe.

Le respect de cette distance n'est parfois pas possible à mettre en œuvre. Dans ce cas, il est possible de déterminer le temps à partir duquel commence à apparaître le recyclage thermique. L'équation suivante établie par Banks permet le calcul.

$$t_r = -\frac{C_m \cdot L}{C_w \cdot K \cdot i} \times \left( 1 - \frac{4 \cdot \alpha}{\sqrt{-1+4 \cdot \alpha}} \times \tan^{-1} \left( \frac{1}{\sqrt{-1+4 \cdot \alpha}} \right) \right) \text{ pour } i > 0$$

Avec :

- tr : temps d'apparition du début du recyclage,
- Cm : Capacité thermique volumique de l'aquifère saturé
- Cw: Capacité thermique de l'eau réinjectée,
- L : espacement en mètres entre les deux forages,
- i : gradient de la nappe;
- α : Q/(2πTiL).

Par exemple, pour un système géothermique sur nappe (ou en système ouvert) fonctionnant 4 mois par an avec un débit moyen de 50 m<sup>3</sup>/h avec un aquifère présentant une transmissivité de 2 10<sup>-2</sup> m<sup>2</sup>/s et un gradient de 0,5%, l'application de la formule donne 90 mètres (Cm= 2,5 10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup>/°C et Cw= 4,2 10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup>/°C).

L'application de la formule pour un écartement disponible de 70 mètres donne environ 160 jours.

Dans ce cas le positionnement des ouvrages permet d'éviter le recyclage thermique (rappel le forage d'injection doit être situé en aval hydraulique).

Une première approche peut être faite en évaluant le temps de percée qui correspond à l'arrivée d'une eau refroidie au niveau du forage de production en utilisant la formule suivante :

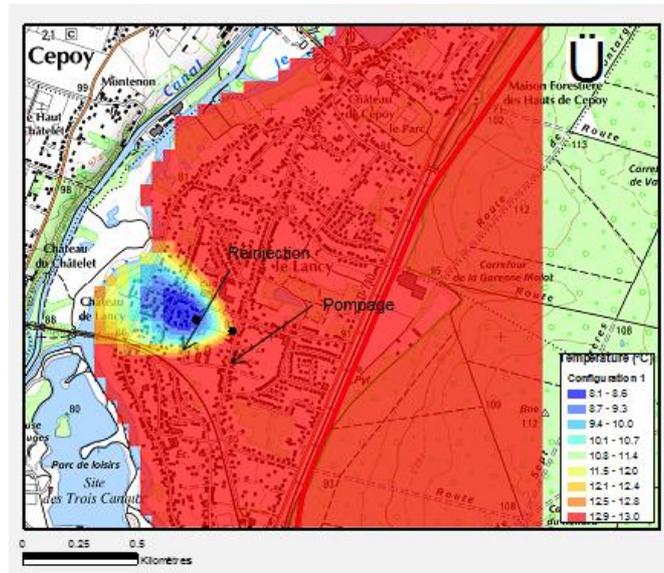
$$T_p = 0,628 D^2 \times H/V$$

Avec :

- D : écartement en mètres entre le forage de production et le forage d'injection,
- H : épaisseur en mètres de l'aquifère,
- V : volume d'eau pour une saison de chauffage en m<sup>3</sup>.

Cette formule ne prend pas en considération l'écoulement de la nappe mais peut permettre une première évaluation du phénomène de recyclage.

Pour des cas plus complexes, il peut être fait usage des modélisations mathématiques. De nombreux logiciels existent sur le marché. Ceux-ci nécessitent de disposer de données hydrogéologiques sur l'ensemble du secteur à modéliser ; ce qui n'est pas toujours le cas.

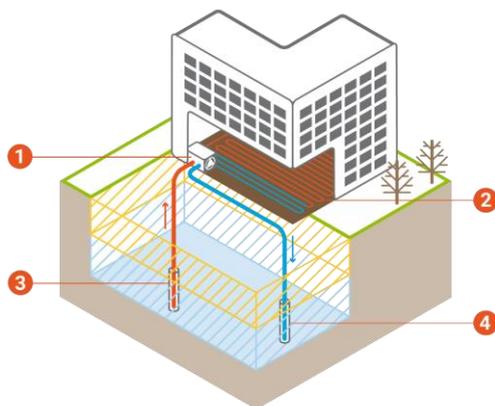


**Exemple de modélisation de l'impact thermique**

#### 4.1.2. Dimensionnement et design des forages

Le dimensionnement et la conception des forages de production et d'injection constituant l'installation est une affaire de spécialistes en hydrogéologie et en forages.

La conception des forages est basée sur une étude hydrogéologique définissant l'aquifère qui sera utilisé pour répondre aux besoins thermiques de l'installation.



Point	Désignation
1	Pompe à chaleur
2	Forage de production
3	Emetteurs
4	Forage d'injection

**Solution sur nappe (cas du doublet de forages)**

#### 1. Dimensionnement des forages :

Le débit nécessaire au fonctionnement de l'installation est fonction de la puissance thermique retenue pour le projet et des caractéristiques de la pompe à chaleur qui sera mise en œuvre.

Ce débit peut être calculé en appliquant la formule suivante :

Pour les besoins en chaud :

$$\text{Débit} = P_{th} \times (1 - 1/COP) / 1,16 \times \Delta T$$

Avec :

- Débit en m<sup>3</sup>/h
- P<sub>th</sub> : puissance thermique de la pompe à chaleur en kW
- COP : coefficient de performance de la pompe à chaleur



- $\Delta T$  : écart thermique de l'eau entrée échangeur et sortie échangeur.

Pour les besoins en froid :

$$\text{Débit} = P_{\text{frigo}} \times (1 + EER) / 1,16 \times \Delta T$$

Avec :

- Débit en m<sup>3</sup>/h
- P<sub>frigo</sub> : puissance frigorifique en kW
- EER : coefficient de performance de la frigo pompe
- $\Delta T$  : écart thermique de l'eau entrée échangeur et sortie échangeur.

**Le débit à pomper détermine les caractéristiques de la pompe immergée qui devra être installée dans le forage de production.** La géométrie du forage est donc déterminée à partir des dimensions de la pompe et de sa profondeur d'installation.

## 2. Réalisation des forages :

La réalisation des forages doit respecter la Norme NFX 10-999 relative au Forage d'eau et de géothermie Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages ainsi que les textes réglementaires.

### Aspects réglementaires :

Les installations sous-sol sont régies par les articles relatifs à la géothermie du Code Minier.

Les opérations relevant plus spécifiquement du **cadre réglementaire de la Géothermie de Minime Importance** sont définies selon les critères suivants :

*Les critères de la géothermie de minime importance sont fixés au paragraphe II de l'article 3 du décret n°78-498 du 28 mars 1978 modifié.*

*Pour les activités recourant au moins à un échangeur géothermique ouvert ou fermé, celles qui remplissent les conditions suivantes :*

- La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25° C ;*
- La profondeur du forage est supérieure à 10 mètres et inférieure à 200 mètres ;*
- La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW ;*
- Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle ;*
- Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs au seuil d'autorisation fixé à la rubrique 5.1.1.0 de l'article R. 214-1 du code de l'environnement (<80 m<sup>3</sup>/h).*

De plus, un zonage des risques à l'environnement a été élaboré avec trois couleurs :

- Rouge : GMI impossible,
- Orange : GMI possible soumise à l'avis d'un expert,
- Verte : GMI possible sans avis d'expert.

**L'Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance fixe les prescriptions applicables.** Un extrait de cet arrêté est reproduit ci-dessous.

### **2.1. Règles d'implantation des échangeurs géothermiques**

*Lors de leur réalisation, les échangeurs géothermiques destinés à l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance ne peuvent pas être implantés :*

- dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages d'eau destinée à la consommation humaine et des sources des eaux minérales naturelles conditionnées ;
- à moins de 35 mètres ;
- d'un ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine ;
- des stockages d'hydrocarbures, de

produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ; - des bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des rubriques 2101, 2102, 2110, 2111, 2112, 2113, 2120 de la nomenclature des installations classées ainsi que des zones de stockage des déchets de l'exploitation d'élevage ; - des ouvrages de traitement des eaux usées collectifs ou non collectifs ; - à moins de 200 mètres d'une installation de stockage de déchets relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

2.1.2. Distances spécifiques aux échangeurs géothermiques ouverts : Outre les règles d'implantations précisées au 2.1, lors de leur réalisation, les échangeurs géothermiques ouverts ne peuvent pas être implantés :

- dans un périmètre de protection géothermique institué en application de l'article L. 124-5 du code minier ni dans un volume d'exploitation d'activités géothermiques défini en application de l'article L. 134-6 du code minier ; - à moins de 5 mètres de conduites d'assainissement individuelles ou collectives d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines, lorsque qu'une étanchéité entre les conduites d'assainissement et les horizons géologiques exploités existe ou est mise en place. En l'absence d'une telle étanchéité naturelle ou artificielle, cette distance minimale est portée à 35 mètres.

2.1.3. Lorsque l'implantation envisagée d'un échangeur géothermique est localisée à une distance inférieure à 200 mètres autour d'un captage d'eau destiné à la consommation humaine qui ne dispose pas des périmètres de protection prévus à l'article L. 1321-2 du code de la santé publique, l'exploitant joint à la déclaration prévue par l'article 22-2 du décret n° 2006-649 du 2 juin 2006 modifié l'attestation de compatibilité prévue au 6° du même article.

## 2.2. Prise en compte du contexte local

2.2.1. L'exploitant prend toutes les précautions nécessaires lors de la réalisation de l'échangeur géothermique :

a) Pour prévenir les risques de déstabilisation géologique, pour assurer l'étanchéité entre les différents horizons géologiques traversés par échangeurs géothermiques et pour protéger l'environnement de pollution des eaux souterraines par migration des pollutions de surface ou souterraines ou par mélange des différents niveaux aquifères :

- dans les zones karstiques ou présentant des vides souterrains qui rendent difficiles la cimentation des ouvrages sans précautions supplémentaires ; - dans les zones dont le sous-sol comporte des roches évaporitiques solubles ou gonflantes (sels, gypse, ...) susceptibles d'être atteintes par les forages envisagés ;

- en bordure du littoral marin ou à proximité des eaux salées ; - dans les anciennes carrières ou mines à ciel ouvert remblayées ou dans les zones donnant lieu à des servitudes d'utilité publique en rapport avec d'anciennes installations de carrières ou de mines ;

- dans les zones à risques de mouvement de terrain, les zones à risques sismiques et dans les zones volcaniques à proximité des circulations d'eau ou de gaz exceptionnellement chauds ou chargés en éléments ; - dans des situations géologiques spécifiques telles que la traversée d'une nappe artésienne, de nappes avec un différentiel piézométrique significatif ou de nappes ayant un niveau piézométrique proche de la surface (cas des doublets sur nappe) ;

b) Pour préserver la ressource en eau potable et les enjeux sanitaires :

- dans les zones en amont hydraulique des ouvrages de prélèvement d'eau destiné à l'alimentation en eau potable ;  
- dans les zones de nappes stratégiques identifiées par les SDAGE ou SAGE.

Les précautions portent a minima sur le mode de réalisation, la technique de forage, la profondeur des échangeurs ainsi que leur régime d'exploitation. Les techniques de forage, la profondeur des échangeurs géothermiques sont adaptées pour ne pas atteindre ou pour limiter l'accès aux zones à enjeux identifiés et pour prendre en compte le contexte géologique ainsi que les propriétés chimiques des milieux traversés. L'exploitant met en œuvre les mesures particulières prévues au 4.1.5 ou des mesures de surveillance adéquates dans les contextes mentionnés ci-dessus.

2.2.2. L'exploitant d'un gîte géothermique de minime importance respecte :

- les objectifs et les dispositions des schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux ;



- les règlements des schémas d'aménagement et de gestion des eaux ;  
- les plans de prévention des risques naturels ; - les règlements des périmètres de protection des points de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine ; - les règlements des périmètres de protection des stockages souterrains de gaz, d'hydrocarbures ou de produits chimiques institués dans le cadre du livre II du code minier ;  
- les servitudes d'utilité publique ou toutes autres restrictions d'usage en lien avec des pollutions des sols susceptibles d'impacter les aquifères ; - les dispositions du règlement sanitaire départemental au regard des prélèvements d'eau destinée à la consommation humaine.

La géométrie des forages doit donc impérativement intégrer la nécessité de :

- Isoler l'aquifère à capter des terrains sus-jacents et des aquifères situés au-dessus (en cas de présence),
- Assurer la stabilité de l'ouvrage dans le temps,
- Permettre la production et l'injection dans de bonnes conditions,
- Limiter les phénomènes de corrosion (choix des matériaux)
- Permettre l'installation du matériel nécessaire en respectant les prescriptions des fournisseurs.

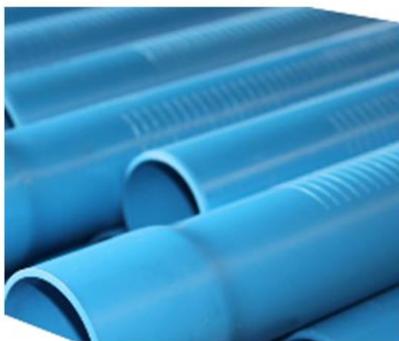
**Pour concevoir un forage, il faut donc faire l'exercice en partant du bas pour remonter en surface.**

### La crépine :

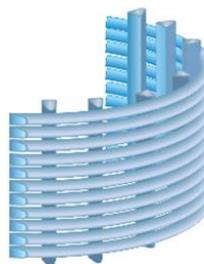
Le choix du type de crépine est fonction :

- Du débit escompté,
- Des caractéristiques prévisionnelles de l'eau de la nappe,
- De la nature de la formation à capter (aquifère sableux/détritique, carbonaté, cristallin, ...).
- Il faut minimiser la vitesse d'entrée de l'eau dans le forage ( $<3$  cm/s) et une vitesse ascensionnelle dans la crépine maximale de 1,5 m/s.
- L'ouverture des crépines (slot) est fonction de la granulométrie du massif filtrant qui est elle-même fonction de la granulométrie du réservoir capté.

Il existe différents types de crépines.



Crépine PVC



Fil enroulé

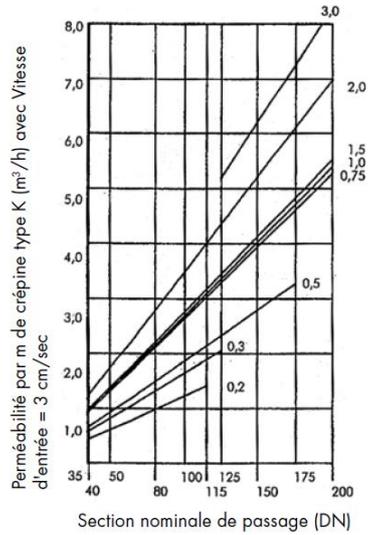


Nervures repoussées

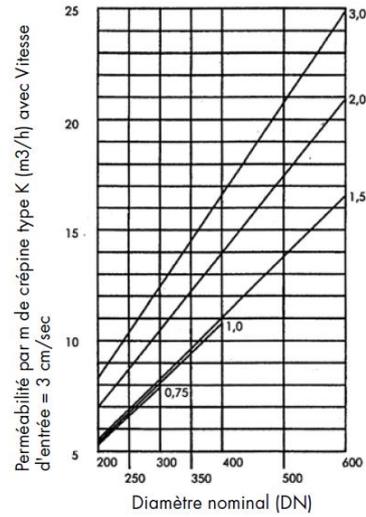
### **Types de crépines**

Les capacités de production sont plus faibles pour les crépines en PVC car elles présentent un pourcentage de vide limité. A titre d'illustration, les graphiques suivants indiquent les capacités de production par mètre linéaire de crépine.

**Perméabilité de crépines de forage  
DN 35 - 200**  
(Largeur de fente: 0,2 - 3,0 mm)



**Perméabilité de crépines de forage  
DN 200 - 600**  
(Largeur de fente: 0,75 - 3,0 mm)

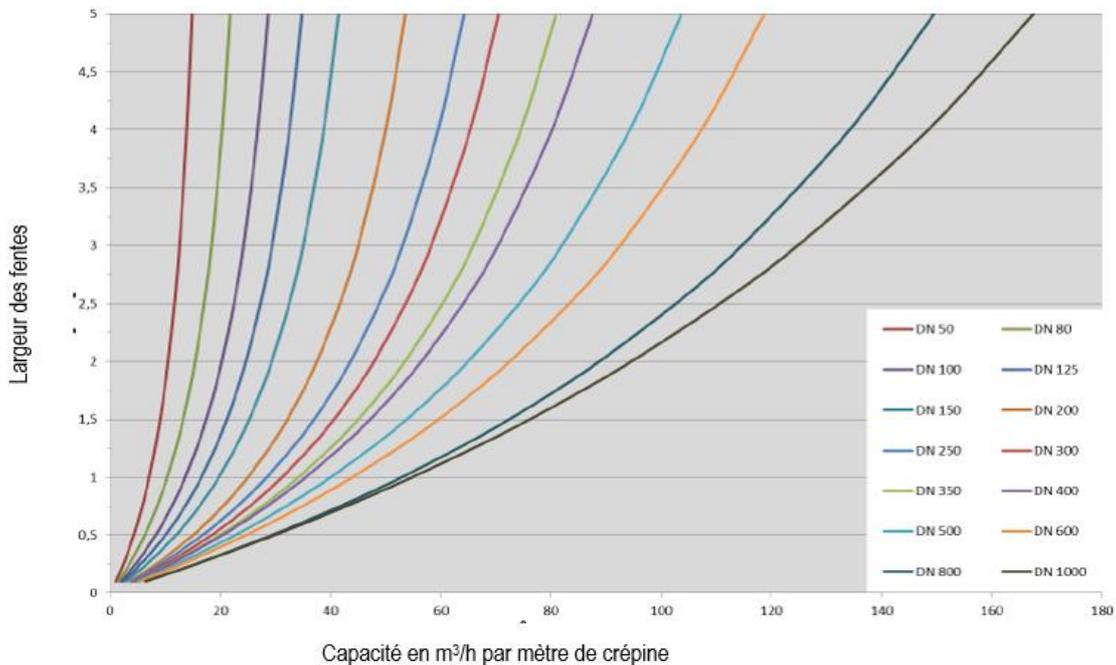


**Evaluation du débit par mètre de crépines cas du PVC en fonction du diamètre et de la largeur des fentes**

Par exemple pour une crépine de 175 mm et des fentes de 1 mm, le débit maximal théorique est de 4,7 m<sup>3</sup>/h/m. Si on prend un aquifère à capter avec des venues d'eau sur 10 mètres, le débit maximal sera de 47 m<sup>3</sup>/h.

**L'utilisation de PVC à coller n'est pas autorisée.**

Les crépines à nervures repoussées sont en acier ou en Inox, les ouvertures sont généralement comprises entre 0,5 et 1,5 mm. Le pourcentage d'ouverture est généralement un peu plus élevé sur les autres types de crépine.



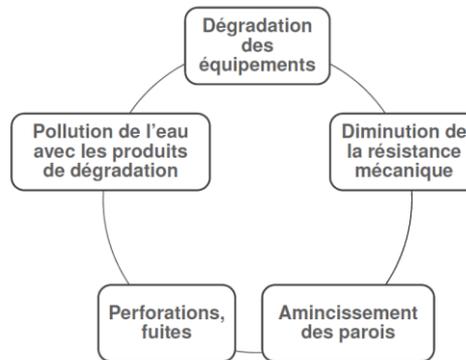
**Evaluation du débit par mètre de crépines : cas des crépines Inox à fil enroulé en fonction du diamètre et de la largeur des fentes**

Par exemple pour une crépine de 175 mm et des fentes de 1 mm, le débit maximal théorique est de 21 m<sup>3</sup>/h/m. Si on prend un aquifère à capter avec des venues d'eau sur 10 mètres, le débit maximal sera de 210 m<sup>3</sup>/h.



## La corrosion :

Le choix des matériaux constitutifs de la crépine (partie captante) est lié à la nature de l'eau. Il convient notamment de limiter les phénomènes de corrosion.



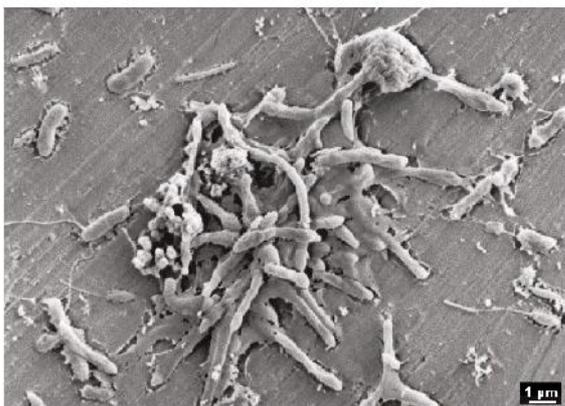
### *Les effets de la corrosion*

La biocorrosion est liée à la présence de certaines bactéries dans l'eau et constitue une forme spécifique de corrosion.

- Corrosion bactérienne, soit par leur métabolisme, soit en accélérant un processus déjà établi (cinétique),
- Création d'un biofilm, de corrosion
- Production de composés corrosifs (métabolites) ex : Thiobacillus thiooxydans qui génère de l'acide sulfurique,
- Les Ferro bactéries : oxydation par Gallionella ferruginae (formation de dépôts d'hydroxyde ferrique avec zone d'anaérobiose),
- Attaques par les bactéries sulfatoréductrices,
- Hétérogénéité du biofilm : zones avec et sans oxygène qui provoquent des aérations différentielles,
- Formation de dépôts qui produisent une corrosion par crevasses.

Pour se prémunir de ce type de corrosion, il convient de :

- Limiter le développement bactérien (désinfection et réduction de la vitesse d'entrée de l'eau dans les crépines),
- Assurer la qualité de la maintenance du forage,
- Limiter les zones propices aux bactéries (design, rugosité).



### *Exemple de développement bactérien sur le tubage du forage*

L'optimisation du design des forages est basée sur :

- Le choix des matériaux en cohérence avec le milieu capté et les contraintes
- Des analyses d'eau de la nappe exploitée représentative
- Le dimensionnement du forage
- Un traitement thermique et décapage passivation par immersion en bain d'acide des tubages et crépines en Inox.

### Le massif de graviers :

Il a pour fonction de filtrer les eaux plus spécifiquement pour les aquifères sableux et détritiques. Pour les autres aquifères, le rôle de filtration n'est pas avéré ; dans ce cas le massif de graviers a un rôle de calage et de stabilisation de la colonne captante.

Pour être efficace d'un point de vue filtration, le massif de graviers ne doit pas être inférieur à 75 mm (Norme NFX 10-999).

Le massif de graviers est constitué de graviers siliceux de préférence roulés, calibrés, lavés ou de billes de verre ou de céramique.

**Le diamètre de la colonne captante et du massif de graviers déterminent le diamètre du forage au droit du réservoir.**

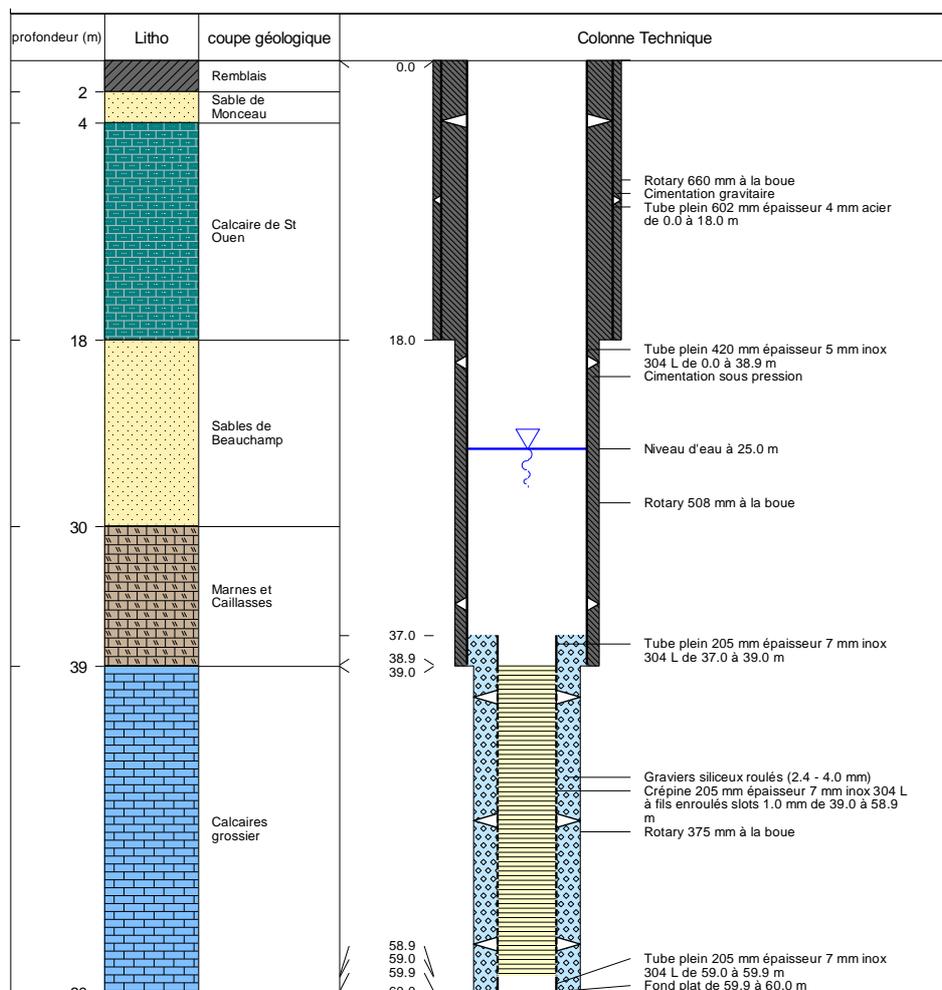
Dans les cas où il est nécessaire d'isoler les terrains sus-jacents, il est nécessaire de forer la partie mort-terrain dans un diamètre supérieur intégrant la cimentation obligatoire. Le tableau suivant indique les diamètres à respecter pour se conformer à la norme NF X 10-999.

Diamètre de foration 1 En pouces (en mm)	Diamètre extérieur du tubage cimenté en mm	Épaisseur min. de cimentation minimale en mm	Diamètre de foration 2 En pouces (en mm)	Diamètres extérieurs de la colonne captante acier en mm	Diamètres extérieurs de la colonne captante PVC en mm
32" (812 mm)	710	50	26" (660 mm)	508/457 mm	—
26" (660 mm)	540/560	50	20" (508 mm)	355/406 mm	315/400 mm
24" (610 mm)	508	50	17" <sup>1/2</sup> (445 mm)	273/323 mm	280/315 mm
22" (559 mm)	473	50	17" <sup>1/2</sup> (445 mm)	273/323 mm	280/315 mm
20" (508 mm)	406	50	14" <sup>3/4</sup> (375 mm)	219/244 mm	225/250 mm
17" <sup>1/2</sup> (445 mm)	323/340	50	12" <sup>1/4</sup> (311 mm)	168/178/193/203 mm	180/200 mm
14" <sup>3/4</sup> (375 mm)	273	50	9" <sup>7/8</sup> (251 mm)	101/114/127/152 mm	140/170 mm
12" <sup>1/4</sup> (311 mm)	219	40	8" (203 mm)	89/101/139 mm	90/125 mm
9" <sup>7/8</sup> (254 mm)	140 à 170	40	4" <sup>1/2</sup> -6" (114-152 mm)	60/90/102 mm	60/90 mm
8" <sup>1/2</sup> (216 mm)	114/140	40	4"-4" <sup>1/2</sup> (102-114 mm)	—	50/60 mm

### *Diamètres de forage en fonction des tubages et colonne captante*

Ces différentes réflexions aboutissent à la définition de la géométrie du forage adaptée également aux contextes géologique et hydrogéologique.





**Exemple de coupe géologique et technique prévisionnelle du forage**

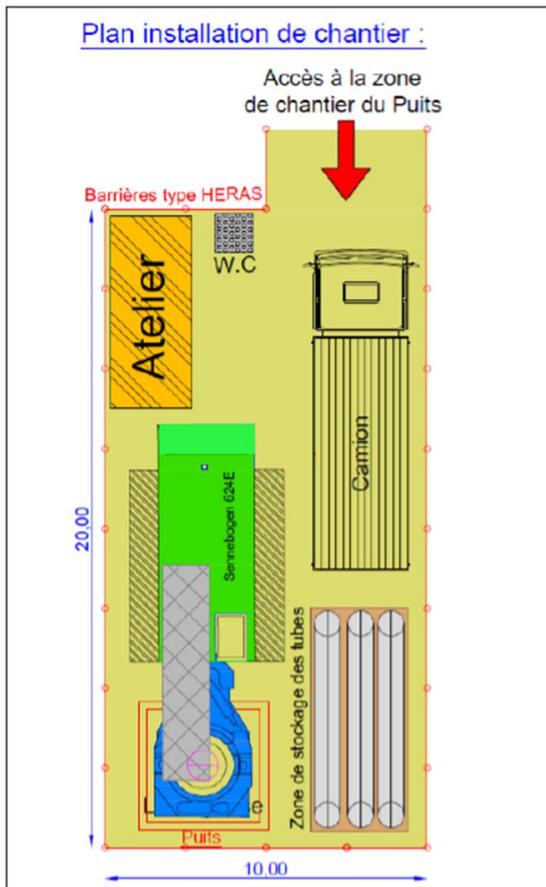
### 4.1.3. Réalisation des forages

Les travaux de forage doivent être réalisés sur la base d'un cahier des charges (CCTP) définissant les ouvrages à créer. **L'entreprise doit être qualifiée RGE Travaux (Qualiforage Module Nappe ou qualification équivalente) pour les opérations relevant de la géothermie de minime importance.**

L'ensemble des contraintes devra être correctement cerné préalablement, il s'agit notamment de :

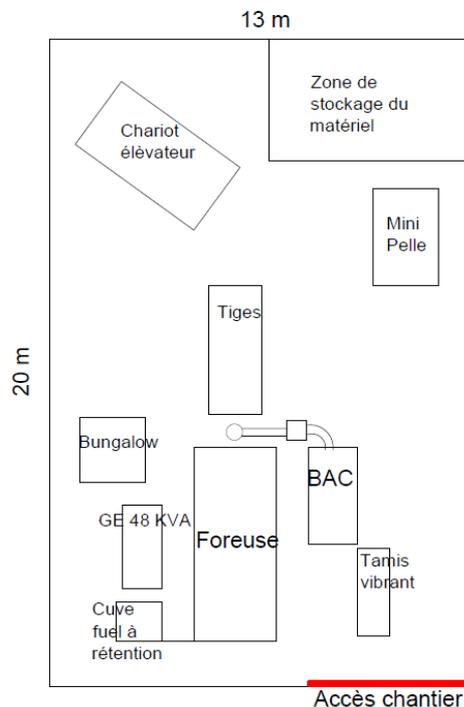
- Aires de travail et accessibilité,
- Alimentation en eau du chantier,
- Evacuation des eaux de développement et des pompages d'essai.

Concernant l'aire de travail, elle est fonction de l'atelier de forage qui peut être plus ou moins important.



*Exemple pour un atelier de battage*

SCHEMA DE PLATEFORME  
260 m<sup>2</sup>



*Exemple pour un atelier de forage au Rotary*

Les travaux de forage doivent être suivis par un **hydrogéologue** connaissant bien les techniques de forage. Ce suivi nécessite une présence sur place notamment pour les phases importantes :

- Décision côtes d'arrêt,
- Calage géologique,
- Cimentation,
- Equipement,
- Pompage par paliers,
- Inspection vidéo du forage.

**La seule tenue de réunions de chantier ne peut être suffisante.**

Les données de pompage et du test d'injection doivent être interprétées par un **hydrogéologue** pour déterminer le débit d'exploitation des ouvrages.

#### 4.1.4. Equipement des forages

##### Le suivi de l'évolution de la nappe :

La géométrie des forages doit impérativement intégrer la nécessité de pouvoir suivre l'évolution du niveau de la nappe exploitée de façon :

- Manuelle (sonde graduée), un tube piézométrique doit être prévu dans l'installation,
- Automatique (capteur).



### L'étanchéité des forages :

Les têtes de forages doivent être étanches et plus particulièrement pour les forages d'injection. Un purgeur d'air doit être installé sur la bride en tête.



*Exemple de tête de puits*

### Le maintien en pression du forage d'injection :

Aucune injection ne peut être envisagée par déversement depuis la surface. Par conséquent, une colonne d'injection correctement dimensionnée doit être mise en place quelques mètres sous le niveau statique (le plus bas connu).

La canalisation depuis l'échangeur jusqu'au forage d'injection doit rester en charge lors des arrêts du fonctionnement de la Pompe A Chaleur, de façon à éviter l'apport d'air.

Pour cela, une **vanne de maintien de pression** doit être installée le plus en aval possible.

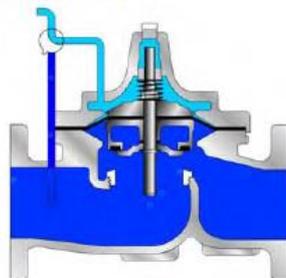
Il existe deux types de vannes :

- Vanne posée sur la canalisation de jonction,
- Vanne posée sur la colonne d'injection (pouvant être utilisée pour rétro lavage).



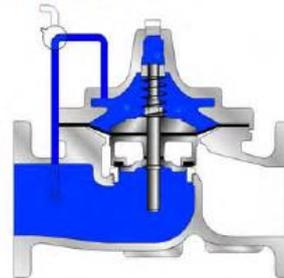
*Exemple de vanne de maintien de pression*

Pilote ouvert/fermé



Ouverture intégrale:  
La décharge de la pression de la chambre de commande à l'atmosphère engendre l'ouverture de la vanne.

Pilote ouvert/fermé



Fermeture étanche:  
Lorsque la pression d'entrée est dirigée dans la chambre de commande, la vanne se ferme de façon étanche.

*Principe de fonctionnement de la vanne*

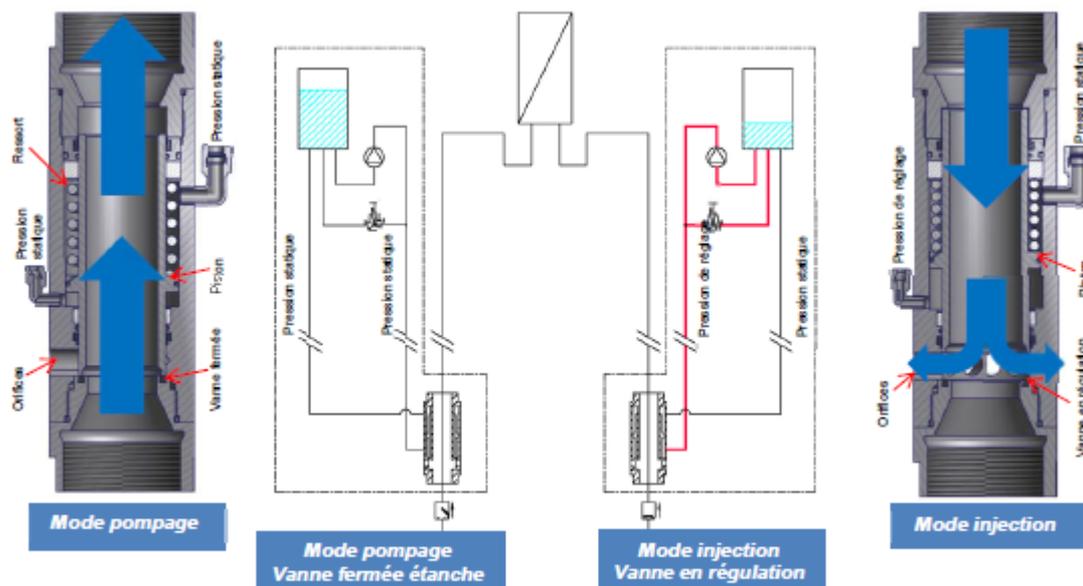
Il est possible également d'utiliser une vanne installée en pied de colonne d'injection dans le cas où une pompe immergée de rétro lavage est installée dans le forage d'injection.



### **Vanne de maintien de pression en pied de colonne d'injection**

Le principe de fonctionnement de cette vanne est indiqué sur la figure suivante.

**En mode pompage** : Le circuit de contrôle de la vanne de régulation, normalement fermée, est à l'arrêt. La force du ressort pousse le piston vers le bas et maintient automatiquement les orifices latéraux de sortie du fluide parfaitement fermés sans le moindre écoulement, indépendamment de la variation de débit et/ou de la pression d'entrée.



**Mode injection** : Pendant la phase d'injection, le circuit de contrôle de la vanne est en fonctionnement. Le piston règle ainsi l'ouverture des orifices et maintient avec précision une pression d'entrée de la vanne prédéfinie sans tenir compte du changement de débit. La force du ressort ainsi que la pression hydraulique de contrôle de la vanne sont précis et maintiennent automatiquement le piston dans la position adéquate. La plage de pression de réglage est comprise entre 0,1 bar et 6,0 bar.

### **Principe de fonctionnement de la vanne**

#### **La protection des forages :**

Les forages doivent être protégés notamment des ruissellements et de toute introduction d'eau éventuellement chargées de matières solides.

Pour cela différents dispositifs sont envisageables :

- Création d'un abri en surface, le forage étant disposé au centre d'une dalle béton de 3 m<sup>2</sup> (arrêté du 11 septembre 2003),
- Création d'un regard enterré ou semi enterré.





**Exemple d'abri de forage**



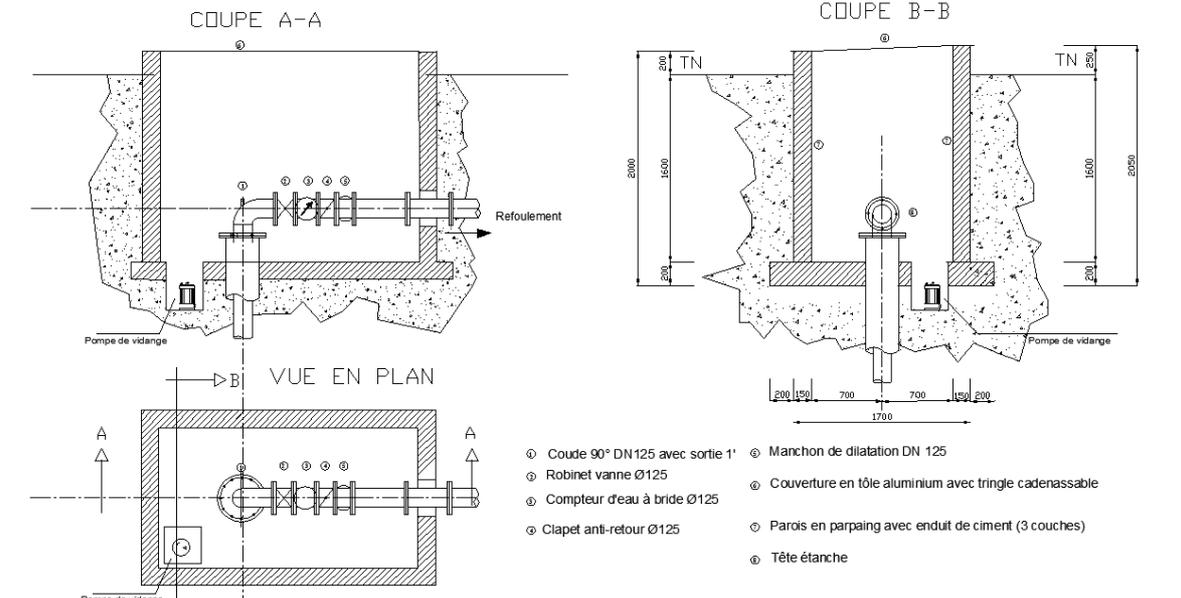
**Exemple de regard enterré**

Dans certains cas, les forages peuvent se trouver en sous-sol dans le bâtiment. La protection des forages reste indispensable.



**Exemple de regard de forage en sous-sol**

**Abri du forage**



**Exemple de regard enterré**

La figure suivante illustre le cas d'un forage ne permettant pas la protection de l'aquifère.



**Exemple de regard et tête de forage non efficaces**

Sur les clichés précédents, il est possible de noter que des déversements depuis la surface sont possibles, de plus des venues d'eau sont possibles depuis la canalisation via le percement du regard non étanché.

#### **L'accessibilité aux forages :**

Les implantations des forages doivent tenir compte de la nécessité de pouvoir intervenir pour :

- Les opérations de maintenance (changement de la pompe immergée ou de la colonne d'injection),
- Les opérations d'entretien et de régénération des forages.

Il convient donc de disposer pour les opérations de maintenance d'une surface suffisante pour l'installation des moyens de levage (grue, télescopique ou camion grue) et l'entrepose des équipements sortis (pompe immergée et colonne).

Pour les opérations lourdes d'entretien, il faut pouvoir installer un atelier de forages.

#### **Equipement des forages :**

L'équipement des forages comprend :

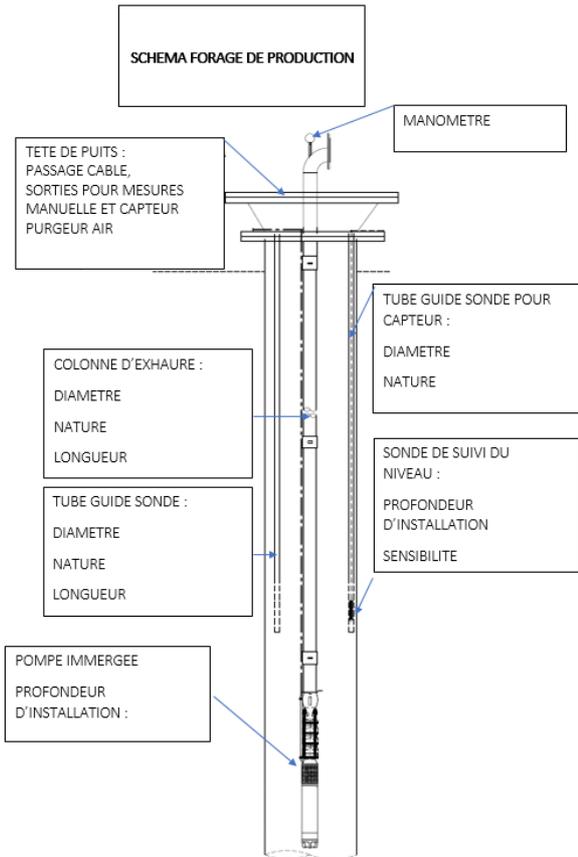
Pour le forage de production :

- La pompe immergée et sa colonne de refoulement,
- Une tête de puits étanche,
- Deux tubes guide sonde : un pour les mesures manuelles, un pour le capteur de pression.

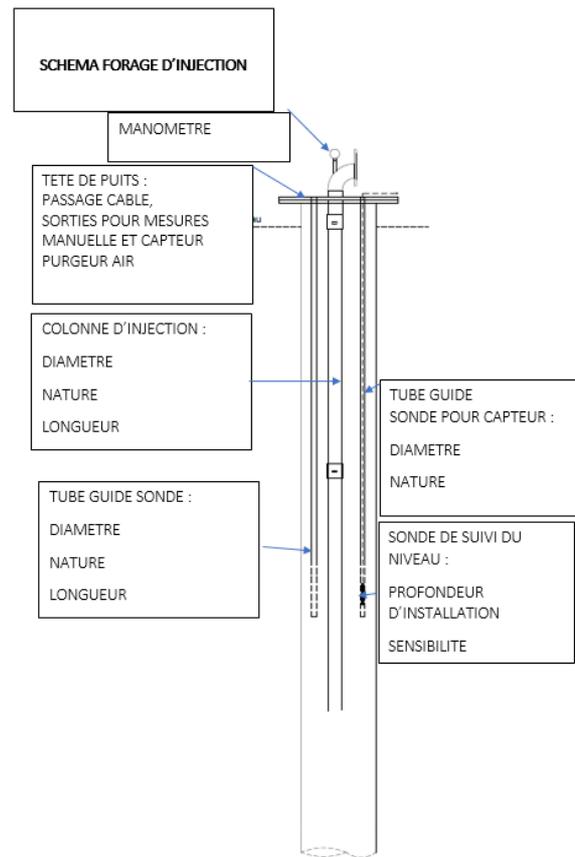
Pour le forage d'injection :

- Une colonne d'injection descendue sous le niveau statique le plus bas connu,
- Une tête étanche,
- Deux tubes guide sonde : un pour les mesures manuelles, un pour le capteur de pression.





**Schéma de l'équipement du forage de production**

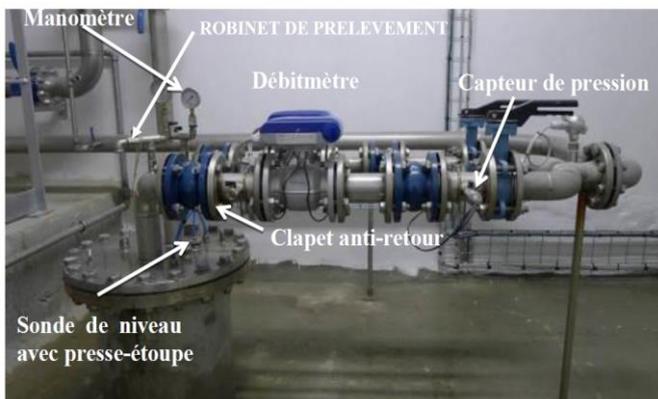


**Schéma de l'équipement du forage d'injection**

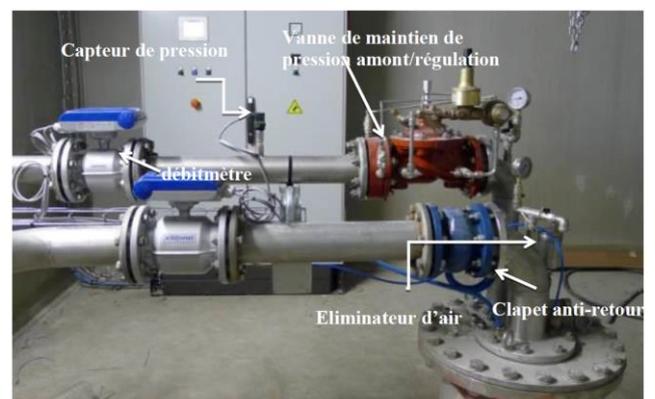
En ce qui concerne le forage d'injection, une pompe immergée pour effectuer des rétro-lavages peut être installée.

Deux configurations sont possibles :

- Installation d'une colonne d'injection et d'une colonne d'exhaure, ce qui implique un diamètre de forage plus important,
- Installation d'une colonne équipée d'une vanne en pied au sommet de la pompe immergée (comme indiqué précédemment).



**Exemple d'équipement d'un forage de production**



**Exemple d'équipement d'un forage d'injection**



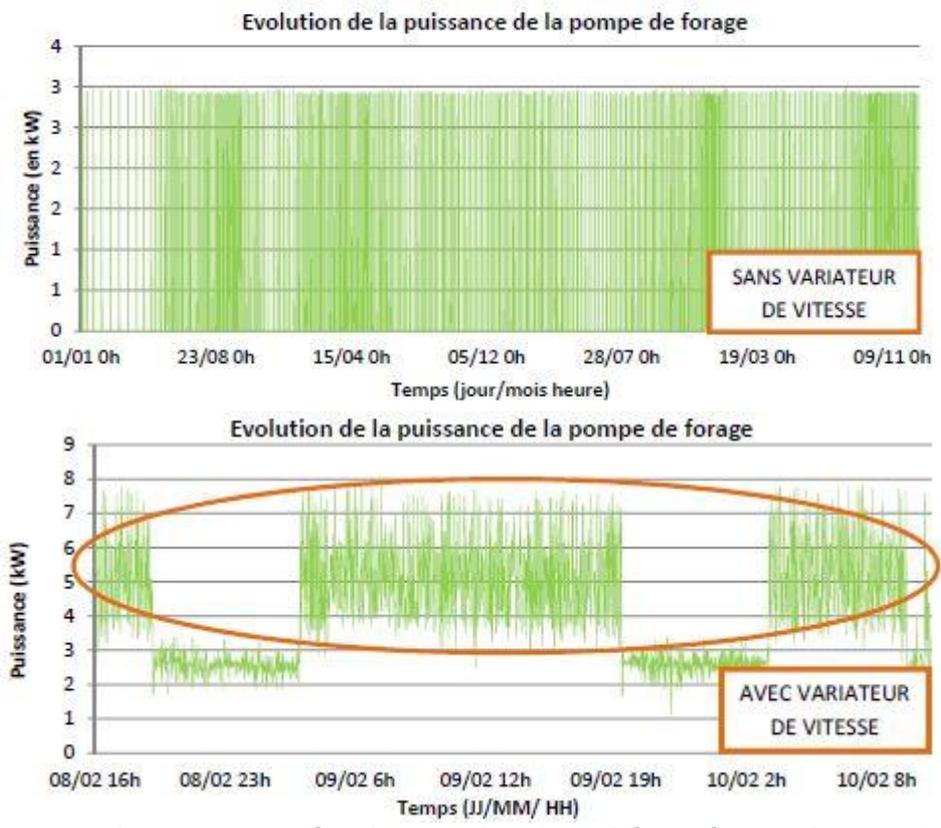
*Exemple d'équipement d'un forage d'injection équipé en retro lavage*

**Variateur de fréquence sur la pompe immergée :**

La pompe immergée du forage de production doit être équipée d'un **variateur de fréquence** (de préférence) de façon à adapter le débit aux besoins thermiques.

Avec un variateur de fréquence, il est facile de réduire la vitesse du moteur et obtenir des bonnes économies sur les coûts d'énergie. Une simple réduction de 20% sur la vitesse du moteur entraîne une économie directe de près de 50% en énergie. En bonus, cette réduction de vitesse réduit en même temps l'usure, la pression, la vibration, les arrêts/départs et le bruit dans le système complet.

Les deux graphiques ci-dessous permettent d'apprécier les différences de puissance de la pompe de production avec et sans variateur.



*Source guide ADEME « Réussir un projet de qualité en géothermie de surface »*





*Exemple de variateur de fréquences*

### La filtration :

La filtration en amont échangeur a pour but de prévenir son encrassement ainsi que de diminuer l'apport éventuel de fines dans le forage d'injection pouvant conduire à terme à son colmatage.

Il existe de nombreux dispositifs de filtration. Le matériel à mettre en œuvre doit être adapté au contexte. Sans être exhaustif, on peut citer :

- Les filtres cycloniques,
- Les filtres à tamis,
- Les filtres cycloniques incorporant à l'intérieur un filtre à tamis,
- Les filtres auto nettoyant.



*Exemple de filtre cyclonique et filtre à tamis*



**Exemple de filtre cyclonique avec filtre à tamis intégré**



**Exemple de filtre auto nettoyant**

### **La métrologie et la supervision des forages :**

Le fonctionnement du doublet doit faire l'objet d'un suivi et d'une supervision. Pour cela, les niveaux, débits et volumes, températures au puits de production et au puits d'injection doivent être enregistrés.

En ce qui concerne les débits et volumes pompés et injectés, l'utilisation de débitmètres est préconisée toutefois il est possible d'utiliser des compteurs d'eau classiques. Cette disposition moins onéreuse nécessite d'effectuer des relevés manuels des index pour suivre l'exploitation.

L'Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance précise dans son article 5.2.1 :

*Concernant les échangeurs géothermiques ouverts, l'exploitant fait figurer annuellement dans le dossier de l'installation le suivi des paramètres suivants : le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe à chaleur, les températures en entrée et sortie de la pompe à chaleur, lorsque cette dernière est en fonctionnement nominal ainsi que le relevé de la température maximale sortie de l'échangeur géothermique, les volumes prélevés et rejetés annuellement ainsi que le relevé de l'index du compteur volumétrique (sans remise à zéro). L'exploitant de l'installation est tenu de vérifier le bon fonctionnement du puits de réinjection, de s'assurer de l'étanchéité du réseau primaire et que la différence entre les volumes des eaux prélevées et réinjectées est nulle.*

Une centrale d'acquisition des données doit être installée. Les informations (mesures) sont transmises à la Gestion Centralisée pour réguler le fonctionnement de l'installation et informer des défauts et alarmes de fonctionnement.

### **Le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) :**

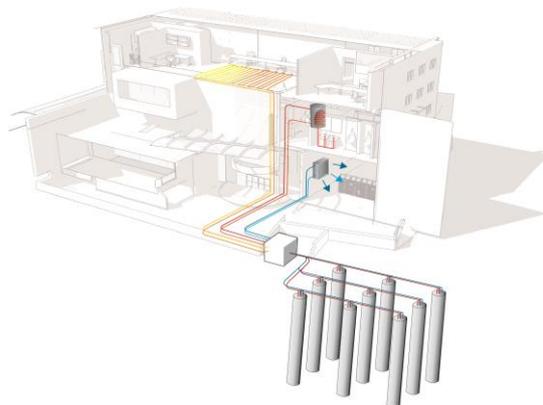
Ce document est indispensable. Il doit être le plus complet possible et doit comporter a minima :

- Les compte-rendu des travaux de forage,
- Les interprétations des pompages d'essai et test d'injection,
- Les inspections vidéo, diagraphies réalisées (micromoulinet notamment),
- Les analyses d'eau,
- La description des équipements mis en place,
- La liste des fournisseurs et coordonnées,
- Les préconisations de maintenance,
- Le PV de réception des travaux.

**Un exemplaire de ce DOE doit être disponible dans le local technique.**



## 4.2. CAS S : Géothermie sur sondes géothermiques



### Principaux éléments du système géothermique sur champ de sondes : source site géothermiques

#### 4.2.1. Implantation et détermination du nombre de sondes géothermiques

L'implantation des sondes géothermiques doit être faite en intégrant deux contraintes :

- Limiter les interactions thermiques entre les sondes,
- Ne pas générer d'impacts thermiques en dehors des limites de la propriété du projet.

En ce qui concerne la géothermie de minime importance, l'Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance fixe les prescriptions applicables.

Un extrait de cet arrêté est reproduit ci-dessous.

#### 2.1. Règles d'implantation des échangeurs géothermiques

Lors de leur réalisation, les échangeurs géothermiques destinés à l'exploitation d'un gîte géothermique de minime importance ne peuvent pas être implantés :

- dans les périmètres de protection immédiate et rapprochée des captages d'eau destinée à la consommation humaine et des sources des eaux minérales naturelles conditionnées ;
- à moins de 35 mètres ; - d'un ouvrage souterrain de prélèvement d'eau destinée à la consommation humaine ;
- des stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques, de produits phytosanitaires ou autres produits susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines ;
- des bâtiments d'élevage et leurs annexes relevant des rubriques 2101, 2102, 2110, 2111, 2112, 2113, 2120 de la nomenclature des installations classées ainsi que des zones de stockage des déchets de l'exploitation d'élevage ;
- des ouvrages de traitement des eaux usées collectifs ou non collectifs ;
- à moins de 200 mètres d'une installation de stockage de déchets relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées.

##### 2.1.1. Distances spécifiques aux échangeurs géothermiques fermés :

Outre les règles d'implantations précisées au 2.1, lors de leur réalisation les échangeurs géothermiques fermés ne doivent pas être implantés à moins de 5 mètres :

- de la limite de propriété la plus proche, à défaut d'un accord écrit préalable des propriétaires voisins autorisant la réalisation de l'échangeur géothermique de minime importance ;
- de conduites, collectives ou non collectives, d'eaux usées ou transportant des matières susceptibles d'altérer la qualité des eaux souterraines.

Pour les petites installations (maison individuelle et petits projets moins de 30 kW), les sondes seront espacées de 10 mètres.

Pour les installations plus importantes, le recours à une modélisation peut être nécessaire pour optimiser le nombre de sondes (longueur cumulée) et leurs implantations.

## Cas des petites installations :

La question est de déterminer la longueur totale de sondes à réaliser pour couvrir les besoins.

L'approche la plus simple consiste à évaluer les capacités thermiques du sous-sol. Pour cela, il est possible d'utiliser le tableau suivant donnant des valeurs de conductivité thermique et de capacité thermique pour différents types de terrain.

	Type de roche	Conductivité thermique $\lambda$ W/(m.K)		Capacité thermique spéc. $\rho c$ MJ/(m <sup>3</sup> .K)		Densité $\rho$ 10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>
		Plage des valeurs	Valeur de calcul recommandée	Plage des valeurs	Valeur de calcul recommandée	
Terrains meubles	Argile sèche	0,4 – 1,0	0,6	1,5 – 1,6	1,5	1,8 – 2,0
	Argile saturée d'eau	0,9 – 2,3	1,4	2,0 – 2,8	2,3	2,0 – 2,2
	Sable sec	0,3 – 0,8	0,5	1,3 – 1,6	1,4	1,8 – 2,2
	Sable saturé d'eau	1,5 – 4,0	2,3	2,2 – 2,8	2,4	1,9 – 2,3
	Gravier/pierres, sec	0,4 – 0,5	0,4	1,3 – 1,6	1,4	1,8 – 2,2
	Gravier/pierres, saturé d'eau	1,6 – 2,0	1,7	2,2 – 2,6	2,3	1,9 – 2,3
	Moraine compacte	1,7 – 2,4	1,8	1,5 – 2,5	2,0	1,9 – 2,5
	Tourbe	0,2 – 0,7	0,4	0,5 – 3,8	1,6	0,5 – 0,8
Roches sédimentaires	Roche molassique suisse	voir tableau 7		1,8 – 2,6	2,1	2,4 – 2,7
	Argilite	1,1 – 3,5	1,9	2,1 – 2,4	2,2	2,4 – 2,6
	Grès		2,3	1,8 – 2,6	2,1	2,2 – 2,7
	Conglomérat/brèche	1,3 – 5,1	2,6	1,8 – 2,6	2,1	2,2 – 2,7
	Roche marseuse	1,5 – 3,5	2,1	2,2 – 2,3	2,2	2,3 – 2,6
	Roche calcaire	2,5 – 4,0	2,8	2,1 – 2,4	2,2	2,4 – 2,7
	Roche sulfatée (anhydrite, gypse)	1,3 – 2,8	1,6		2,0	
Roches de fond magmatiques	Granite	2,1 – 4,1	2,8	2,1 – 3,0	2,4	2,4 – 3,0
	Diorite	2,0 – 2,9	2,3		2,7	2,9 – 3,0
	Gabbro	1,7 – 2,5	2,0		2,6	2,8 – 3,1
Roches de fond métamorphes	Schistes argileux	1,5 – 2,6	1,9	2,2 – 2,5	2,3	2,4 – 2,7
	Marbre	1,3 – 3,1	1,9		2,0	2,5 – 2,8
	Quartzite	5,0 – 6,0	5,3		2,1	2,5 – 2,8
	Micaschistes	1,5 – 3,1	2,0	2,2 – 2,4	2,3	2,4 – 2,7
	Gneiss	1,9 – 4,0	2,6	1,8 – 2,4	2,0	2,4 – 2,7
	Amphibolite	2,1 – 3,6	2,6	2,0 – 2,3	2,1	2,6 – 2,9

### Valeurs des conductivités thermiques des terrains en fonction de la lithologie (Norme SIA-384/6)

La conductivité thermique d'une sonde traversant différents terrains est égale à la somme du produit de la conductivité thermique et de l'épaisseur de chaque terrain divisée par la longueur totale.

En fonction de la conductivité thermique calculée, de la température moyenne du sous-sol traversée, et de la durée prévisionnelle de fonctionnement annuel de l'installation, il est possible d'évaluer la puissance extractible par sonde.



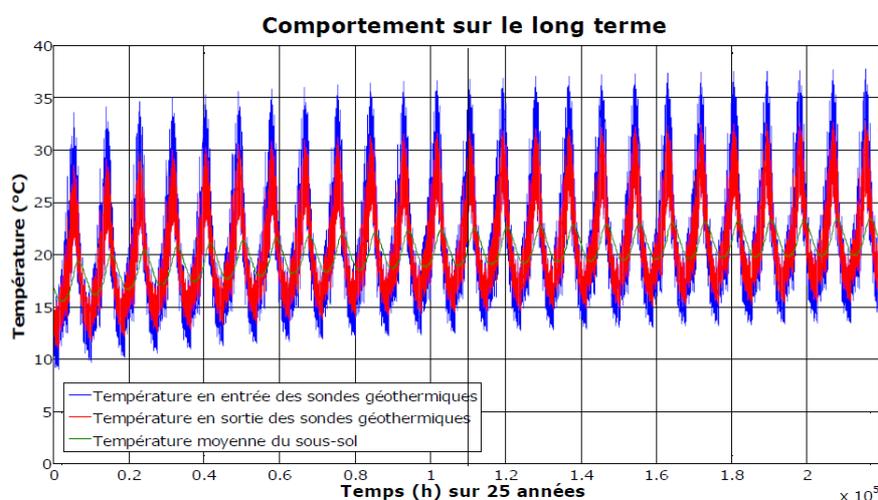
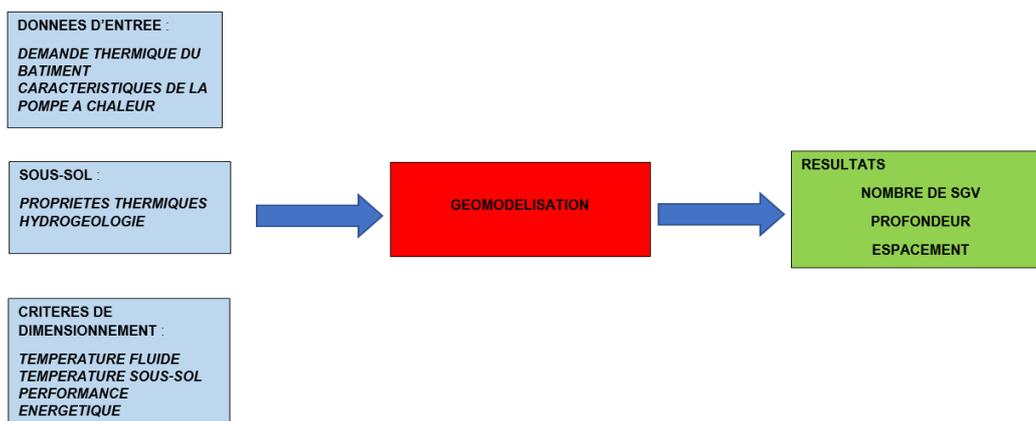
conductivité thermique du terrain $\lambda$ (W/mK)	Puissance maximum soutirable du terrain en Watts par mètre de sonde en double U			
	chaude 2200 heures par		1800 heures par an	
	Sans nappe souterraine	Sans nappe souterraine	Sans nappe souterraine	Sans nappe souterraine
1,0	29,8	35	31,6	36,6
1,1	30,9	36,2	32,8	37,8
1,2	32,1	37,3	34	39
1,3	33,2	38,5	35,1	40,2
1,4	34,2	39,6	36,2	41,3
1,5	35,3	40,6	37,3	42,4
1,6	37,3	41,7	38,4	43,4
1,7	38,3	42,7	39,4	44,5
1,8	39,4	43,8	40,5	45,6
1,9	39,4	44,8	41,6	46,7
2,0	40,4	45,8	42,6	47,7
2,1	41,4	46,8	43,7	48,7
2,2	42,4	47,8	44,7	49,7
2,3	43,4	48,8	45,6	50,7
2,4	44,3	49,7	46,6	51,6
2,5	45,3	50,6	47,6	52,5
2,6	46,2	51,5	48,5	53,4
2,7	47,1	52,4	49,4	54,3
2,8	47,9	53,3	50,3	55,1
2,9	48,8	54	51,2	55,9
3,0	49,7	54,8	52	56,7
3,1	50,5	55,6	52,9	57,5
3,2	51,3	56,4	53,7	58,3

***Puissance extractible pour une sonde en fonction de la conductivité thermique et de la durée de fonctionnement***

**Cas des installations de plus de 30 kW :**

Le recours à une modélisation est nécessaire pour optimiser le nombre de sondes et leur écartement. Il existe différents logiciels permettant d'effectuer les calculs (FEFLOW, TRNSYS, EED).

- **EED** permet de simuler des champs de sondes géothermiques avec un pas de temps mensuel, le COP de la Pompe A Chaleur étant fixe.  
Ce logiciel permet un prédimensionnement fiable.
- **TRNSYS** permet la simulation du champ de sondes, de la Pompe A Chaleur et du bâtiment. Il effectue les calculs au pas de temps horaire en faisant varier le COP à chaque pas horaire en fonction des températures primaire/secondaire.  
**Pour utiliser TRNSYS, il est nécessaire de disposer d'une simulation thermique dynamique du bâtiment.**
- **PILESIM** utilise TRNSYS avec une interface utilisateur simplifiant l'utilisation. Il n'est pas possible d'étudier des systèmes différents que ceux proposés par l'interface.
- **FEFLOW** permet la simulation dynamique des champs de sondes au pas de temps horaire. Il permet de modéliser les écoulements souterrains. Sa mise en œuvre nécessite de connaître les paramètres débit et température au pas de temps horaire.  
La géomodélisation ou simulation dynamique permet le dimensionnement d'un projet de champ de sondes géothermiques en déterminant le nombre de sondes géothermiques, leur profondeur, l'espacement entre les sondes.



### *Exemple de simulation de l'évolution des températures du champ de sondes à 25 ans*

En ce qui concerne les données d'entrées notamment celles relatives aux caractéristiques du sous-sol, deux situations sont envisageables :

- Réalisation d'un Test de Réponse Thermique (TRT) préalablement à la géomodélisation : utilisation des résultats issus du TRT,
- Utilisation de données bibliographiques.

#### **Remarque :**

**L'utilisation de modèles est une affaire de spécialistes et nécessite pour les logiciels les plus sophistiqués la connaissance de nombreux paramètres qui ne sont pas toujours accessibles. Le logiciel EED est le plus facile à mettre en œuvre et permet de répondre à de nombreux projets.**

#### **4.2.2. Le Test de réponse Thermique (TRT)**

De façon à préciser les caractéristiques thermiques des terrains traversés par les sondes géothermiques, il est possible de réaliser un test de réponse thermique. Celui-ci est préconisé dès lors que le champ de sondes envisagé comporte un total de 1000 mètres linéaires cumulés de sondes.

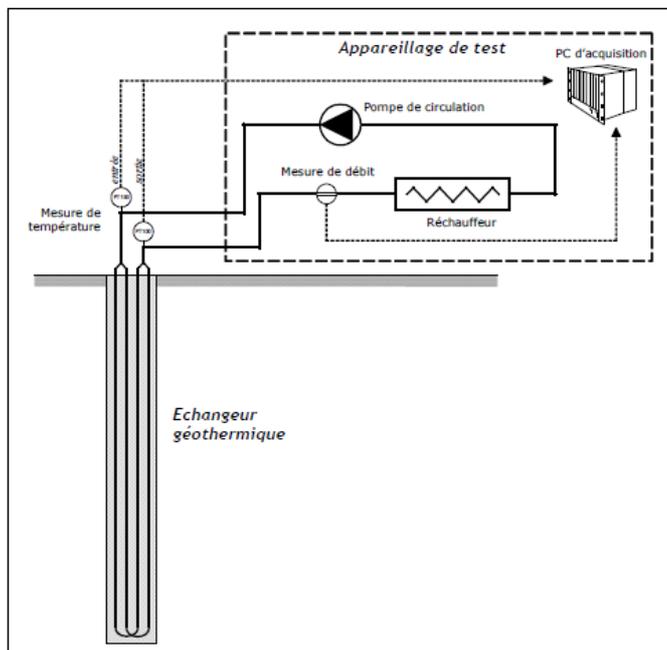
Pour cela, une sonde géothermique doit être réalisée. Après attente du séchage du coulis (a minima 5 jours), le test peut être réalisé avec un matériel mobile selon les recommandations de la norme NF EN 17628.

Le TRT comprend deux phases :

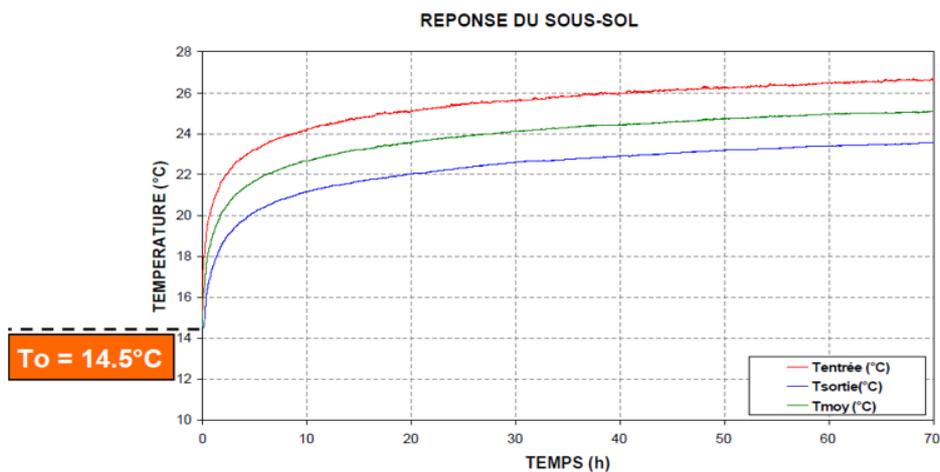
1. Phase initiale consistant à déterminer la température initiale de la sonde. Le fluide dans la boucle est mis en circulation sans injection de chaleur. Il est alors possible de déterminer la température initiale des terrains,



2. Phase TRT : le réchauffeur est mis en service. L'injection de chaleur doit être faite à puissance constante. Les températures entrée/sortie sonde sont enregistrées ainsi que la puissance thermique injectée. Ce test est au minimum de 72 heures.



**Schématisme d'un TRT**



**Exemple de TRT**

Ces données sont interprétées pour déterminer :

- La conductivité thermique,
- La résistance équivalente de la sonde.

**Le TRT peut être réalisé :**

- En réalisant une sonde lors de la phase étude. Les données acquises permettent de réaliser le dimensionnement du champ de sondes sur la base des valeurs obtenues lors du TRT,
- Lors de la création du champ de sondes en réalisant un TRT sur la première sonde réalisée. Les données issues du TRT sont alors comparées aux valeurs utilisées pour le dimensionnement. En cas d'écart, le nombre de sondes à réaliser peut-être réajusté.

Le dispositif d'aides financières du Fonds Chaleur précise pour les opérations dont la longueur cumulée des sondes est supérieure à 1000 mètres : **la réalisation d'une sonde géothermique verticale test, d'un test de mesure in situ des propriétés thermiques du terrain (TRT) et d'une modélisation dynamique (sous-sol et surface) sont obligatoires afin d'optimiser le dimensionnement des installations sous-sol.**

L'ADEME a rédigé un cahier des charges pour la réalisation d'un Test de Réponse Thermique, téléchargeable sur DIAGADEME : <http://www.diagademe.fr/diagademe/vues/accueil/documentation.jsf>.

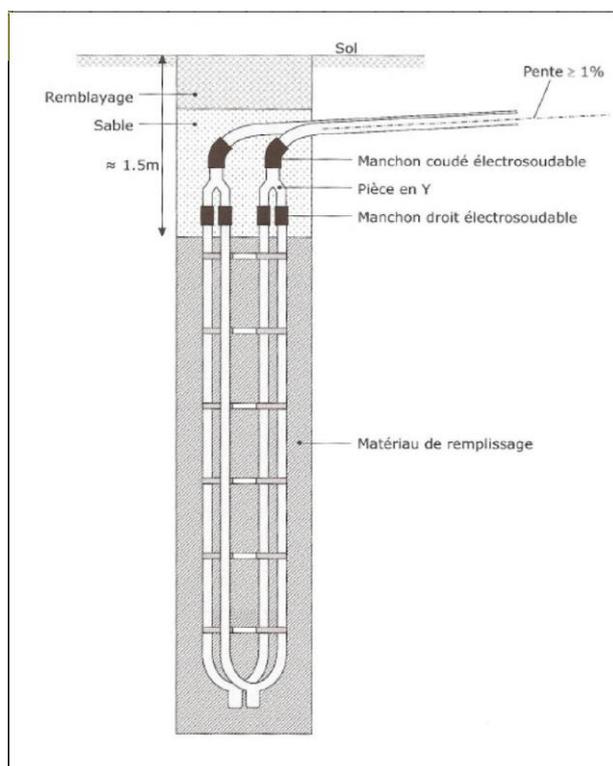
#### 4.2.3. Réalisation des sondes

Les travaux doivent être réalisés sur la base d'un cahier des charges (CCTP) définissant les ouvrages à créer respectant les normes spécifiques aux sondes (NF X 10-970 pour les sondes, NF X 10-960 pour les boucles de sondes et PR NF X 10-950 pour les coulis géothermiques).

**L'entreprise doit être RGE (Travaux Qualiforage Module Sondes ou qualification équivalente) pour les opérations relevant de la géothermie de minime importance.**

L'ensemble des contraintes de chantier devra être correctement cerné préalablement, il s'agit notamment de :

- Aires de travail et accessibilité,
- Evacuation des déblais.



**Schéma d'une sonde géothermique équipée d'un double U**

Les travaux de forage doivent être suivis par un hydrogéologue connaissant bien les techniques de réalisation des sondes géothermiques. Ce suivi nécessite une présence sur place notamment pour les phases importantes :

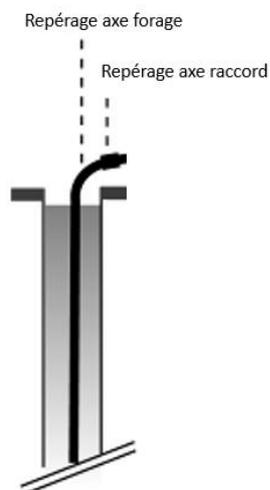
- Décision côtes d'arrêt,
- Calage géologique,
- Cimentation des sondes.

**La seule tenue de réunions de chantier ne peut être suffisante.**



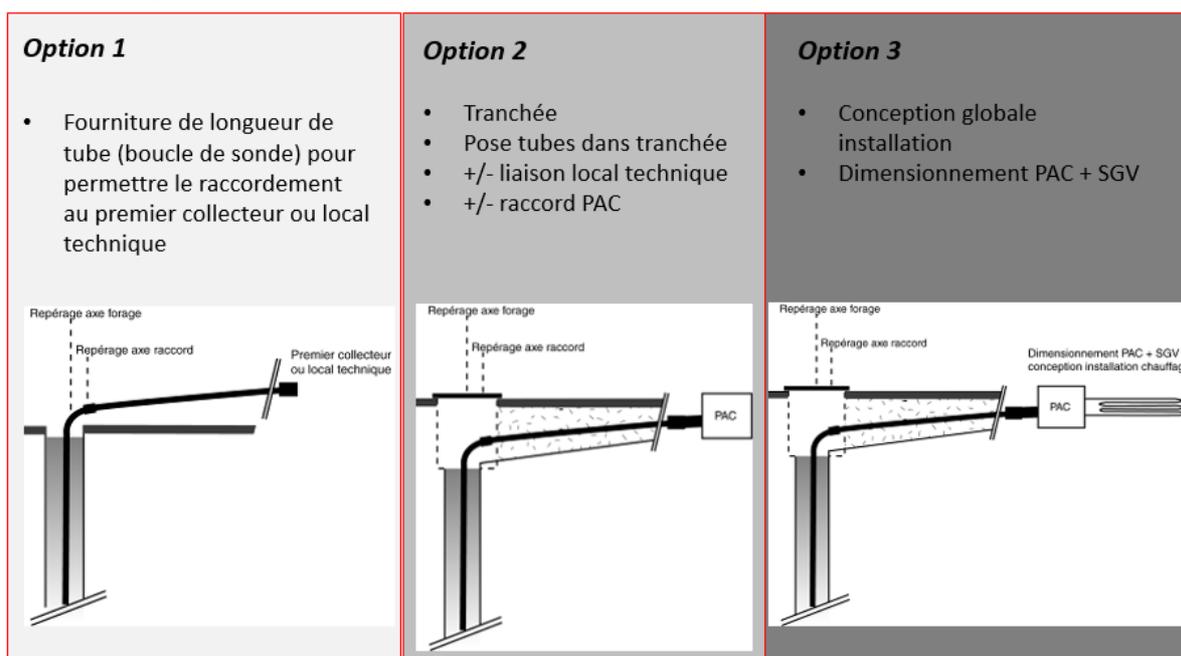
#### 4.2.4. Limites de prestation du foreur réalisant les sondes

La limite minimale de prestation du foreur consiste à réaliser la ou les sondes et à laisser en surface des longueurs suffisantes pour pouvoir raccorder la ou les sondes au collecteur ou au local technique. Le remplissage des sondes avec le fluide caloporteur ne fait pas partie de la prestation minimale selon la norme NF X 10-970.



**Limite de prestation minimale**

Le cahier des charges peut prévoir d'autres limites de prestation.



**Options de limites de prestation**

#### Le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE) :

Ce document est indispensable, il doit être le plus complet possible et doit comporter a minima :

- Les compte-rendu des travaux de forage,
- Les interprétations du TRT,
- La description des équipements mis en place,
- La liste des fournisseurs et coordonnées,
- Les préconisations de maintenance,
- Le PV de réception des travaux.

**Un exemplaire de ce DOE doit être disponible dans le local technique.**

#### 4.2.5. Localisation des sondes

L'Arrêté du 25 juin 2015 relatif aux prescriptions générales applicables aux activités géothermiques de minime importance précise dans son article 4.1.7. : *Outre les coordonnées relevées dans le système de coordonnées prévu dans la déclaration de l'ouvrage, la localisation des échangeurs, canalisations souterrains réalisés ainsi que de leurs accessoires annexes (collecteurs dans le cas des échangeurs fermés) est conservée et annoté dans le dossier de l'installation sur un plan cadastral ou un fond cartographique au 1/1000. Les ouvrages sont signalés par un grillage avertisseur disposé dans les tranchées.*

*Pour un nombre supérieur à 10 sondes, les échangeurs et les canalisations souterrains ouvragés ainsi que de leurs accessoires annexes (collecteurs dans le cas des échangeurs fermés) sont localisés sur un plan réalisé par un géomètre expert qui repère l'emplacement des ouvrages.*

**Il convient donc d'élaborer le plan de localisation des sondes.**

#### 4.2.6. Modification de la profondeur d'une ou plusieurs sondes en cours de travaux

En phase travaux, des difficultés d'ordre géologique peuvent être rencontrées ne permettant pas d'atteindre la profondeur prévisionnelle sur une ou plusieurs sondes à réaliser.

Dans ce cas, il convient de reprendre les calculs de dimensionnement pour couvrir les besoins en augmentant le nombre de sondes à réaliser pour atteindre les objectifs.

Pour un champ de sondes de profondeurs variables, l'installateur veillera à un équilibrage hydraulique adapté pour répartir le flux.



## 5. PRODUCTION – Solutions Surface

---

### 5.1. CAS RAF : Rafraîchissement

#### 5.1.1. Applications

Cette configuration est une application de base en échange direct (c'est-à-dire sans Pompe A Chaleur ou en la by-passant).

Elle permet d'offrir du rafraîchissement gratuit dit « géo-cooling » ou « free-cooling » puisqu'elle ne nécessite par la présence d'une Pompe A Chaleur et donc aucune consommation d'électricité autre que celle des auxiliaires (pompes de circulation principalement).

#### 5.1.2. Remarques générales

Le froid géothermal est cédé à un circuit secondaire grâce à un échangeur géothermal. Ce circuit doit être autonome et comporter une pompe, vannes, alimentation en eau et expansion.

Ce circuit permet de valoriser directement la ressource à la température disponible qui desservira les usages du bâtiment.

#### 5.1.3. Instrumentation

Des compteurs doivent a minima être mis en place afin de calculer les performances du système :

- Compteur d'énergie (débitmètre et sondes de température + intégrateur) sur le circuit secondaire
- Compteur électrique sur les auxiliaires (Pompes de charge)

Les compteurs seront certifiés MID (obligatoirement dans le cas d'une facturation, fortement recommandé dans les autres cas).

Des sondes de températures (sensibilité de 1 % de la plage de mesure et précision de 2 % de la plage de mesure) sont également nécessaires sur les différents circuits autour de la Pompe A Chaleur de façon à permettre sa régulation.

#### 5.1.4. Utilisation

Cette configuration impose un usage à la température de la ressource qui est en général comprise entre 8 et 15°C.

Les émetteurs doivent donc être adaptés à la température de la ressource qui ne peut être régulée. Il s'agira donc majoritairement d'usages pour des logements (avec émetteurs de type plancher rafraichissant par exemple) ou locaux tertiaires (avec émetteurs de type poutres froides par exemple).

En cas d'arrêt du système l'hiver, de nombreuses précautions devront être prises afin de ne pas endommager les équipements (vidanges par exemple pour éviter le gel).

#### 5.1.5. Appoint

Une autre énergie en appoint ou secours peut être mise en place. Il s'agira ici de pallier un manque de ressource ou à sa fluctuation saisonnière. La mise en place d'un appoint ou secours assimilera toutefois cette configuration à un usage de climatisation et non de rafraîchissement.

## **5.2. CAS PAC : Pompe A Chaleur**

### **5.2.1. Applications**

Cette configuration est une application de base avec une Pompe A Chaleur.

Selon le dimensionnement de la Pompe A Chaleur, et notamment du niveau de température en sortie condenseur, elle permet d'alimenter un bâtiment en chauffage et également en ECS.

L'alimentation en ECS sans utilisation d'appoint requiert une sortie condenseur supérieure à 60°C. Dans le cas de bâtiments dont la température des émetteurs de chauffage est supérieure à cette valeur, l'utilisation d'une seule Pompe A Chaleur est préconisée permettant une rationalisation des coûts d'investissement et d'exploitation.

La Pompe A Chaleur peut également être utilisée avec une température en sortie condenseur basse (entre 40 et 55°C à la température extérieure de base), elle permet d'alimenter un bâtiment en chauffage et de réaliser un préchauffage de l'ECS. L'alimentation en ECS requiert dans ce cas obligatoirement un appoint.

### **5.2.2. Remarques générales**

La chaleur géothermale est cédée à un circuit évaporateur grâce à un échangeur géothermal. Ce circuit évaporateur doit être autonome et comporter une pompe, vannes, alimentation en eau et expansion.

La Pompe A Chaleur permet de valoriser cette chaleur et de la restituer à un circuit condenseur qui desservira les usages du bâtiment.

### **5.2.3. Instrumentation**

Des compteurs doivent a minima être mis en place afin de calculer les performances du système :

- Compteur d'énergie (débitmètre et sondes de température + intégrateur) sur le circuit condenseur
- Compteur électrique sur l'alimentation de la Pompe A Chaleur
- Compteur électrique sur les auxiliaires (Pompes de charge)

Les compteurs seront certifiés MID (obligatoirement dans le cas d'une facturation, fortement recommandé dans les autres cas).

Des sondes de températures (sensibilité de 1 % de la plage de mesure et précision de 2 % de la plage de mesure) sont également nécessaires sur les différents circuits autour de la Pompe A Chaleur de façon à permettre sa régulation.

### **5.2.4. Utilisation**

Deux utilisations à deux régimes de températures peuvent être permises avec cette configuration.

La température de l'eau géothermale et donc l'entrée évaporateur est en général comprise entre 3 et 15°C. Les performances du système sont d'autant meilleures que les températures côté condenseur seront faibles. L'objectif est donc de limiter cette température aux stricts besoins.

Utilisation en haute température :

- Pour des applications de chauffage en haute température et d'ECS : température de sortie condenseur supérieure à 60°C permettant d'alimenter le primaire d'un échangeur ECS. Lorsque les lois d'eau de distribution du chauffage le permettent, l'utilisation d'une vanne 3 voies sur le départ chauffage permet de limiter la température de départ dans le circuit chauffage

Utilisation en basse température :

- Pour des applications de chauffage en basse température (entre 30 et 55°C à la température extérieure de base), sur des bâtiments neufs ou rénovés : température de sortie condenseur égale à la température de consigne des émetteurs
- Un échangeur placé sur l'alimentation en eau froide permet de préchauffer cette eau avant qu'elle ne soit chauffée à température supérieure à 55°C minimum par un appoint pour une utilisation comme ECS. Cet échangeur doit nécessairement être adapté à une utilisation sanitaire.



- Lorsque les lois d'eau de distribution du chauffage le permettent, l'utilisation d'une vanne 3 voies sur le départ chauffage permet de limiter la température de départ dans le circuit chauffage.

Le régime condenseur de la Pompe A Chaleur est conditionné par cette température d'utilisation ; un delta de température de 5 à 10°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 15 ou 20°C.

Le régime évaporateur de la Pompe A Chaleur est conditionné en partie par les capacités de la ressource et l'impossibilité d'avoir une température de sortie évaporateur trop basse (impossible sauf si le circuit évaporateur est glycolé) ; un delta de température de 3 à 5°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 8 ou 10°C.

### 5.2.5. Appoint

Une autre énergie en appoint ou secours peut être mise en place. Elle peut permettre par exemple :

- D'assurer les relèves en températures du système par période de grands froids
- D'être utilisée en appoint en puissance lorsque la ressource géothermale ne permet pas de couvrir la puissance appelée par le bâtiment alimenté.

Dans les 2 cas, l'appoint sera de préférence placé en série sur le départ afin de limiter au maximum la température de sortie condenseur.

Il devra également éviter l'augmentation des températures de retour en entrée condenseur.

Dans le cas de préchauffage d'ECS, une autre énergie en appoint doit être mise en place. Le générateur peut aussi être utilisé comme appoint ou secours pour le circuit chauffage

### 5.2.6. Réglementation

Les arrêtés du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP) et du 14 février 2000 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public seront respectés, tout comme la norme NF EN 378. Même dans le cas où elles ne sont pas strictement applicables, ces textes demeurent des références en termes de règles de l'art.

### **5.3. CAS PAC2 : 2 Pompes A Chaleur à niveaux de températures différents**

#### **5.3.1. Applications**

Cette configuration est une application de base avec deux Pompes A Chaleur disposées en parallèle. Elle permet d'alimenter un bâtiment en chauffage et également en ECS.

Par rapport au CAS 2, ce CAS permet de rationaliser les niveaux de température côté condenseur des Pompes A Chaleur et donc d'améliorer leur rendement.

L'alimentation en ECS sans utilisation d'appoint requiert une sortie condenseur supérieure à 60°C. Dans le cas de bâtiments dont la température des émetteurs de chauffage est inférieure à cette valeur, l'utilisation de 2 Pompes A Chaleur peut être préconisée permettant une amélioration des rendements de la Pompe A Chaleur produisant le chauffage.

Une étude en coût global tenant compte de l'investissement, des coûts d'exploitation/maintenance et de l'énergie est toutefois nécessaire pour valider la préférence à ce CAS plutôt qu'au CAS 2.

#### **5.3.2. Remarques générales**

La chaleur géothermale est cédée à un circuit évaporateur grâce à un échangeur géothermal. Ce circuit évaporateur doit être autonome et comporter une pompe pour chaque circuit, vannes, alimentation en eau et expansion.

Les Pompes A Chaleur permettent de valoriser cette chaleur et la restituer à un circuit condenseur qui desservira les usages du bâtiment.

#### **5.3.3. Instrumentation**

Des compteurs doivent a minima être mis en place afin de calculer les performances du système :

- Compteur d'énergie (débitmètre et sondes de température + intégrateur) sur le circuit condenseur de chaque Pompe A Chaleur
- Compteur électrique sur l'alimentation de chaque Pompe A Chaleur
- Compteur électrique sur les auxiliaires (Pompes de charge)

Les compteurs seront certifiés MID (obligatoirement dans le cas d'une facturation, fortement recommandé dans les autres cas).

Des sondes de températures (sensibilité de 1 % de la plage de mesure et précision de 2 % de la plage de mesure) sont également nécessaires sur les différents circuits autour de la Pompe A Chaleur de façon à permettre sa régulation.

#### **5.3.4. Utilisation**

Deux utilisations à deux régimes de températures peuvent être permises avec cette configuration.

L'eau géothermale et donc l'entrée évaporateur est en général comprise entre 3 et 15°C. Les performances du système sont d'autant meilleures que les températures côté condenseur seront faibles. L'objectif est donc de limiter cette température aux stricts besoins.

Chaque Pompe A Chaleur sera dédiée à une utilisation :

- Pour des applications de chauffage en basse température (entre 30 et 55°C à la température extérieure de base), sur des bâtiments neufs ou rénovés : température de sortie condenseur égale à la température de consigne des émetteurs
- Pour des applications de chauffage en haute température et d'ECS : température de sortie condenseur supérieure à 60°C permettant d'alimenter le primaire d'un échangeur ECS. Selon la sélection des Pompes A Chaleur et sous réserves d'adapter l'hydraulique et la régulation du système, il est aussi possible d'utiliser les 2 Pompes A Chaleur en secours l'une de l'autre.

Le régime condenseur de la Pompe A Chaleur est conditionné par cette température d'utilisation ; un delta de température de 5 à 10°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 15 ou 20°C.



Le régime évaporateur de la Pompe A Chaleur est conditionné en partie par les capacités de la ressource et l'impossibilité d'avoir une température de sortie évaporateur trop basse (impossible sauf si le circuit évaporateur est glycolé) ; un delta de température de 3 à 5°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 8 ou 10°C.

### 5.3.5. Appoint

Une autre énergie en appoint ou secours peut être mise en place. Cet appoint peut être identique pour le chauffage et l'ECS et peut permettre par exemple :

- D'assurer les relèves en températures du système par période de grands froids
- D'être utilisée en appoint en puissance lorsque la ressource géothermale ne permet pas de couvrir la puissance appelée par le bâtiment alimenté.

Dans les 2 cas, l'appoint sera de préférence placé en série sur le départ afin de limiter au maximum la température de sortie condenseur.

Il devra également éviter l'augmentation des températures de retour en entrée condenseur.

### 5.3.6. Réglementation

Les arrêtés du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP) et du 14 février 2000 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public seront respectés, tout comme la norme NF EN 378. Même dans le cas où elles ne sont pas strictement applicables, ces textes demeurent des références en termes de règles de l'art.

## **5.4. CAS TFP : Thermo-Frigo-Pompe – Chaud/Froid combiné**

### **5.4.1. Applications**

Cette configuration est une application de base avec une Thermo-Frigo-Pompe (TFP).

Elle permet de valoriser la ressource géothermale à la fois pour du chauffage et de la climatisation de manière simultanée.

A noter qu'on parlera de Thermo-Frigo-Pompe lorsqu'il existe une simultanéité des besoins en chaleur et en froid. Dans le cas contraire, la valorisation de chaleur et de froid sur des périodes différentes, on parlera plutôt de Pompe A Chaleur Réversible ; les principes exposés dans ce cas restent toutefois applicables.

### **5.4.2. Remarques générales**

Selon les configurations, la chaleur (ou le froid) géothermal est cédée à un circuit évaporateur (respectivement condenseur) grâce à un échangeur géothermal.

Le schéma présenté indique la présence de 2 échangeurs géothermaux, qui ne sont toutefois jamais utilisés en simultané. La mise en place d'un seul échangeur avec jeu de vannes automatiques pour une valorisation côté évaporateur ou condenseur est possible (pour des raisons d'encombrement par exemple). Elle n'est toutefois pas optimale puisqu'elle impose des changements importants de niveaux de température sur le même échangeur, qui ne sont pas idéaux pour sa résistance.

### **5.4.3. Instrumentation**

Des compteurs doivent a minima être mis en place afin de calculer les performances du système :

- Compteur d'énergie (débitmètre et sondes de température + intégrateur) sur le circuit évaporateur
- Compteur d'énergie (débitmètre et sondes de température + intégrateur) sur le circuit condenseur
- Compteur électrique sur l'alimentation de la Thermo-Frigo-Pompe
- Compteur électrique sur les auxiliaires (Pompes de charge)

Les compteurs seront certifiés MID (obligatoirement dans le cas d'une facturation, fortement recommandé dans les autres cas).

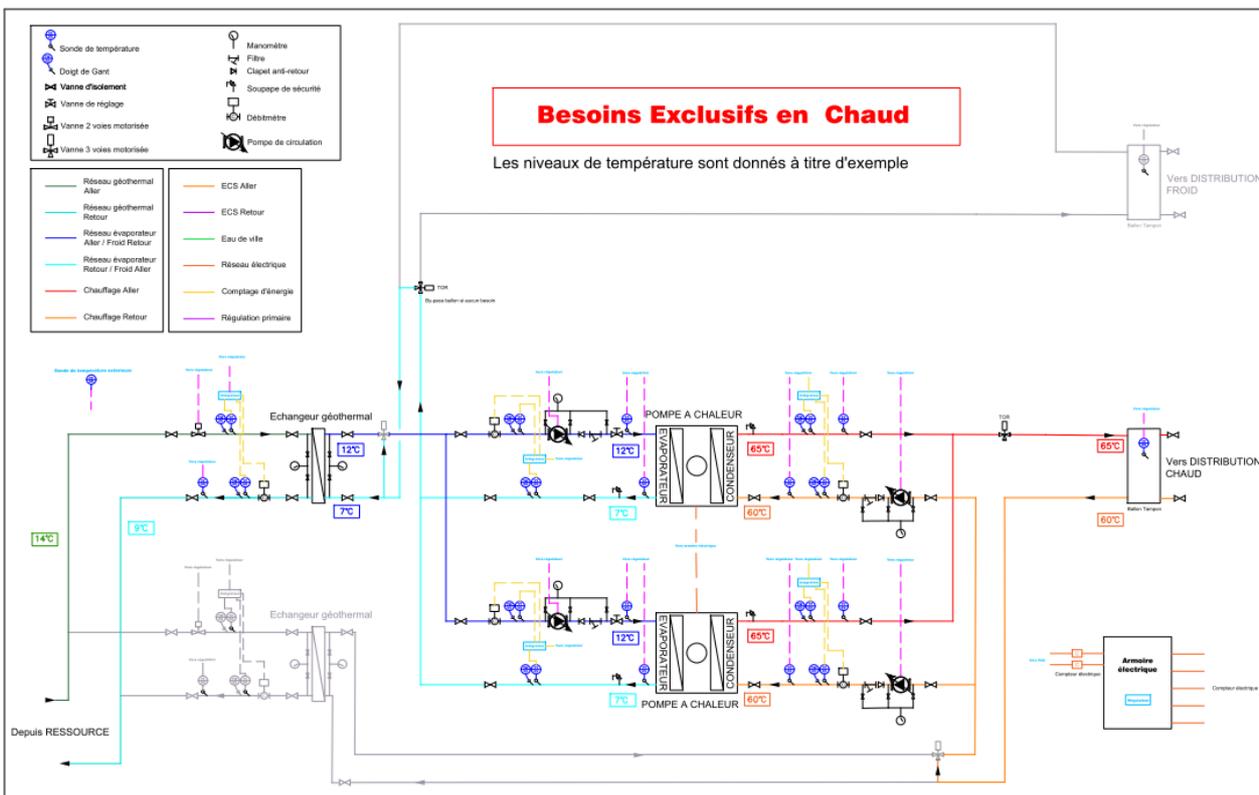
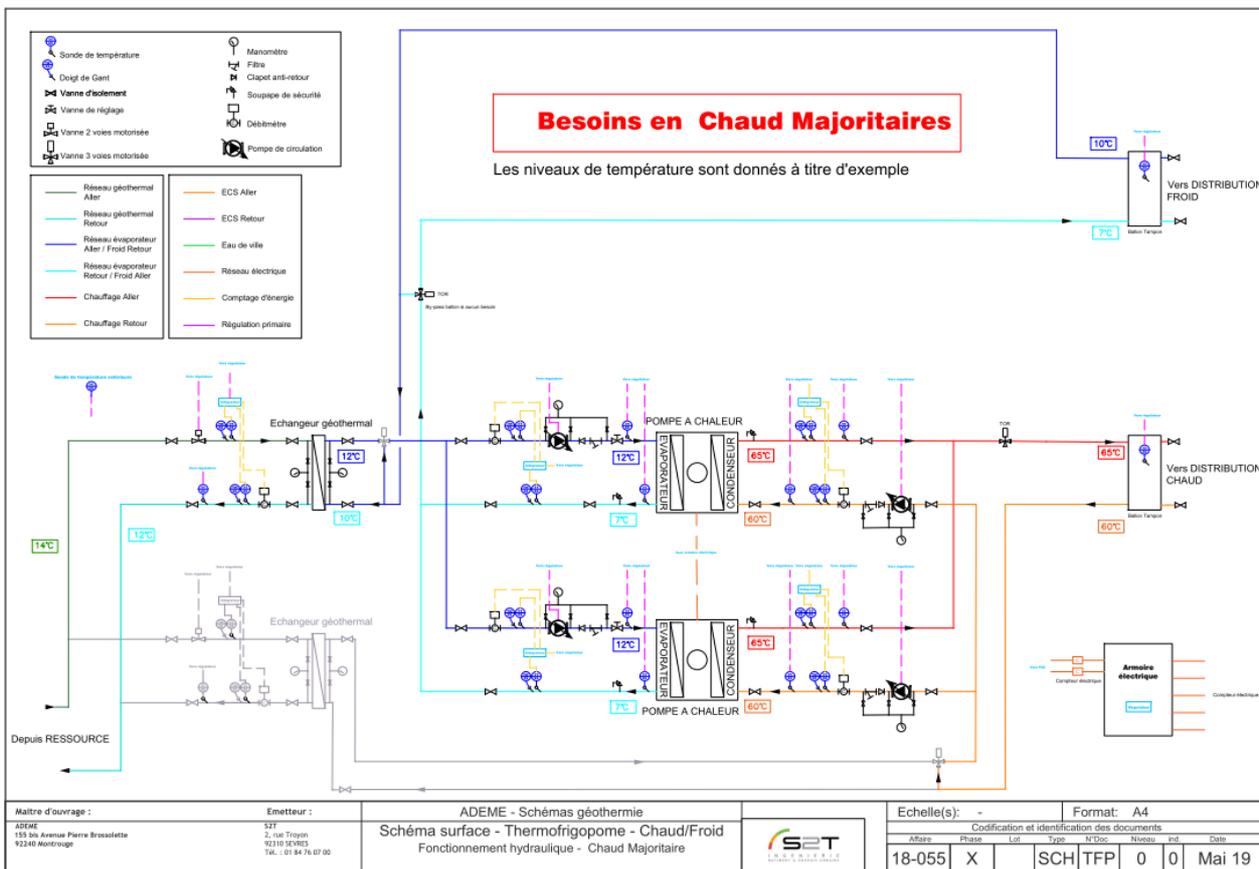
Des sondes de températures (sensibilité de 1 % de la plage de mesure et précision de 2 % de la plage de mesure) sont également nécessaires sur les différents circuits autour de la Pompe A Chaleur de façon à permettre sa régulation.



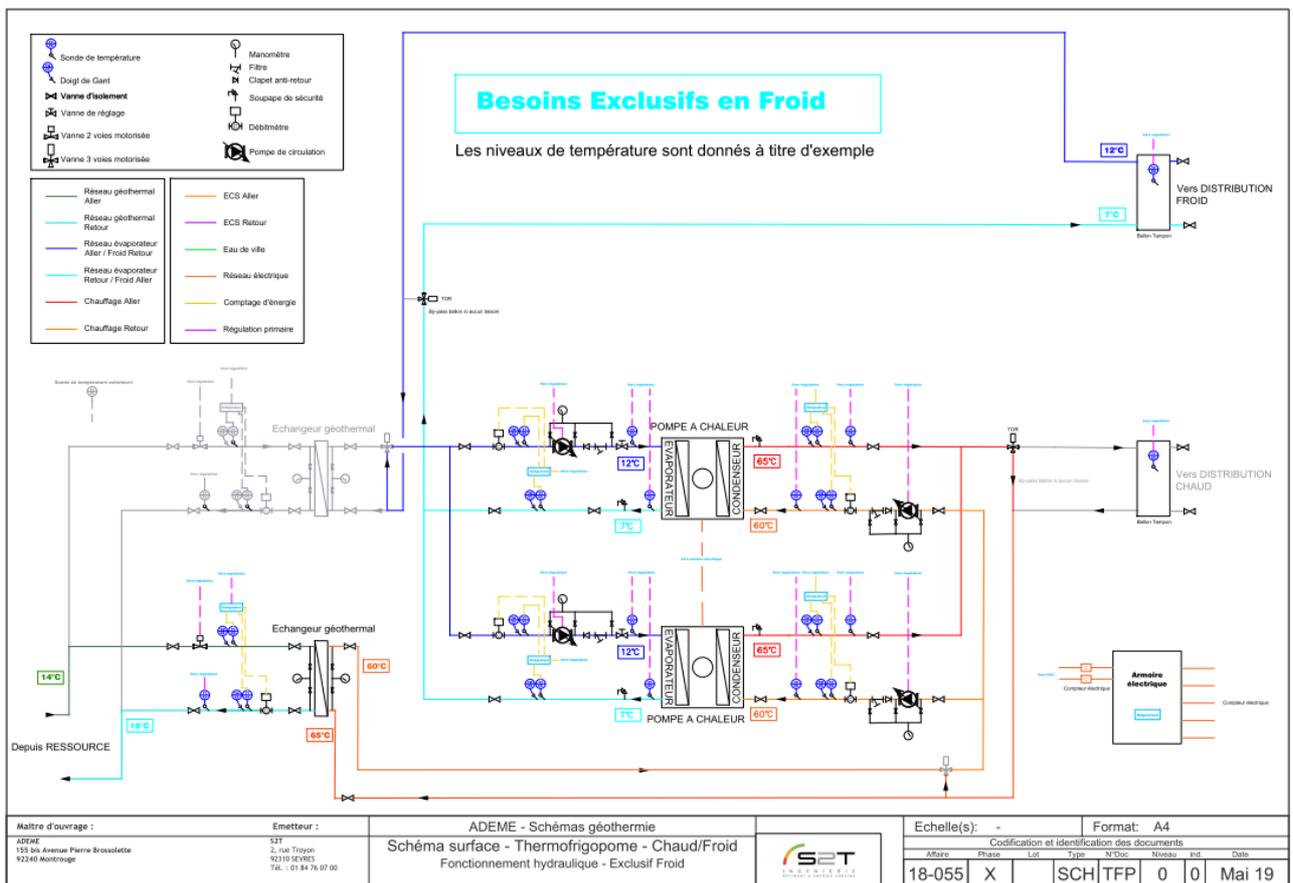
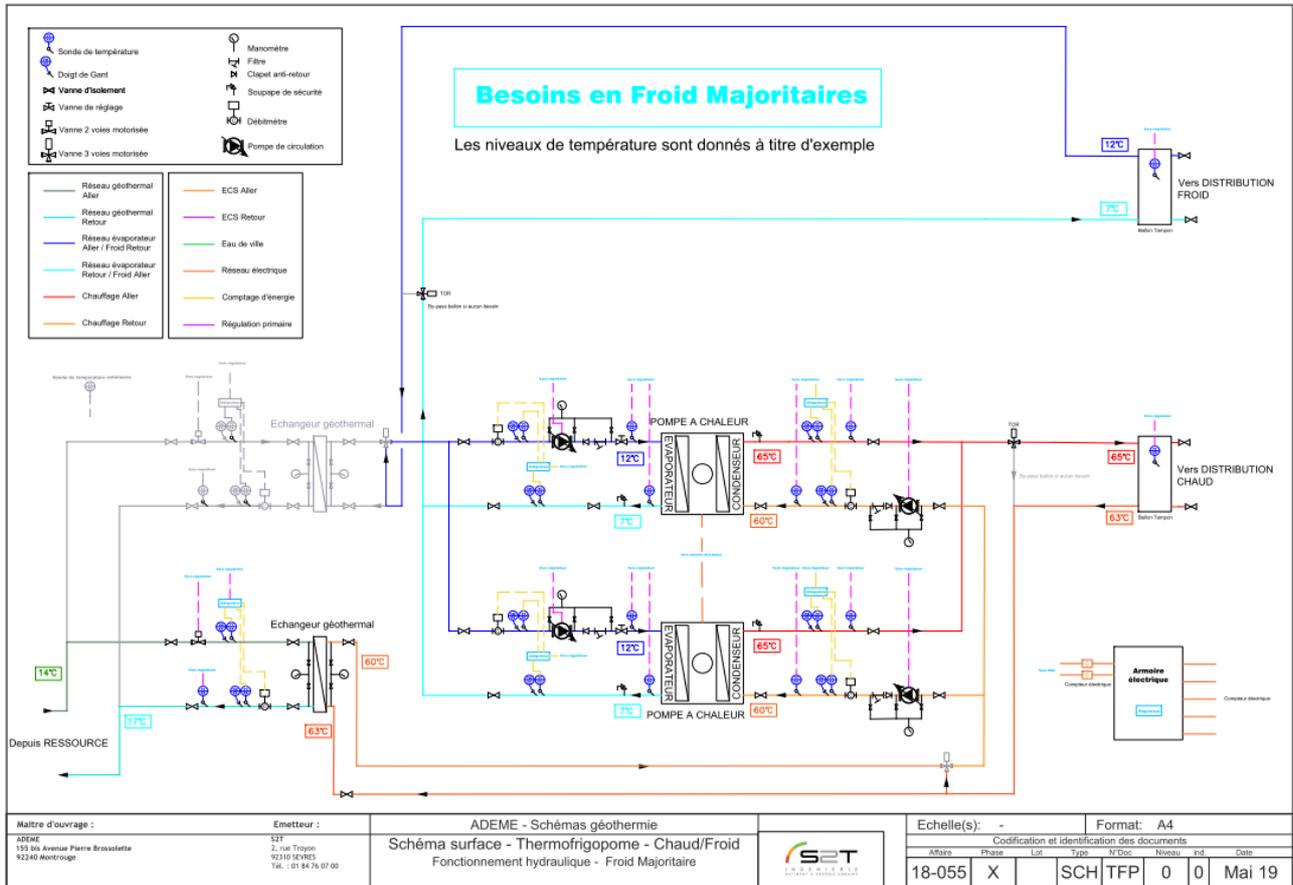
### 5.4.4. Utilisation

Plusieurs configurations existent :

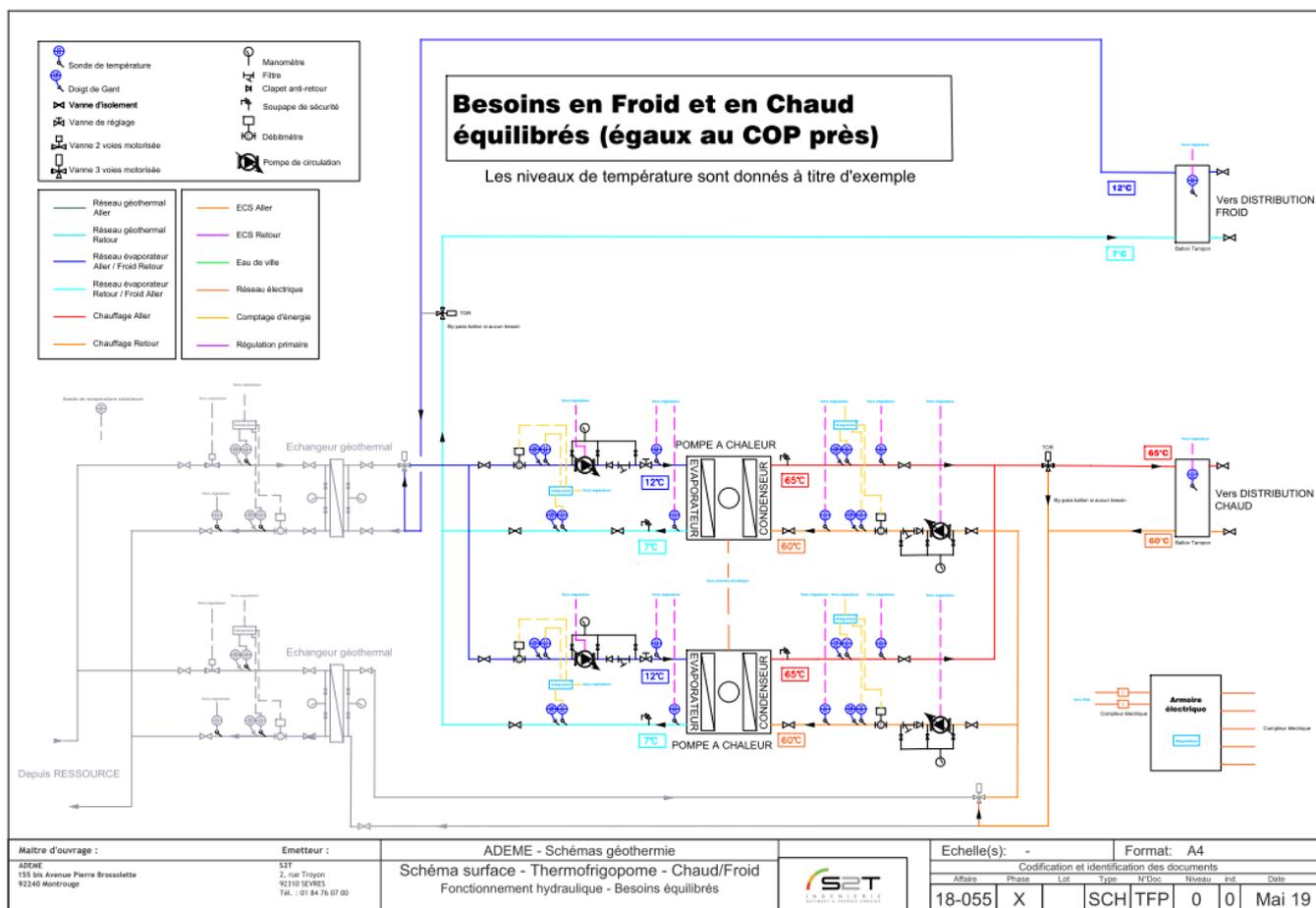
- Besoins en chaud majoritaires : c'est le plus souvent le cas l'hiver, les besoins en froid sont faibles ou nuls et les besoins en chaleur sont importants. Dans ce cas, l'excédent de froid produit par la TFP est rejeté sur la ressource géothermale qui agit comme source chaude



- Besoins en froid majoritaires : c'est le plus souvent le cas l'été, les besoins en chaud sont faibles ou nuls et les besoins en froid sont importants. Dans ce cas, l'excédent de chaleur produit par la TFP est rejeté sur la ressource géothermale qui agit comme source froide



- Besoins en froid et en chaud égaux : dans ce cas, la TFP est équilibrée et la ressource géothermale n'est pas utilisée.



Les niveaux de température seront adaptés aux usages et à la température de la ressource. Toutefois, une optimisation avec un écart entre les niveaux de température côté condenseur et côté évaporateur est toujours souhaitable afin d'améliorer les rendements de la machine.

Lorsque les lois d'eau de distribution du chauffage le permettent, l'utilisation d'une vanne 3 voies sur le départ chauffage permet de limiter la température de départ dans le circuit chauffage

Le régime condenseur de la Thermo-Frigo-Pompe est conditionné par cette température d'utilisation ; un delta de température de 5 à 10°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 15 ou 20°C.

Le régime évaporateur de la Thermo-Frigo-Pompe est conditionné en partie par les capacités de la ressource et l'impossibilité d'avoir une température de sortie évaporateur trop basse (impossible sauf si le circuit évaporateur est glycolé) ; un delta de température de 3 à 5°C est en général constaté, pouvant dans certains cas être porté jusqu'à 8 ou 10°C.

### 5.4.5. Appoint

Une autre énergie en appoint (gaz, fioul ou électrique) ou secours peut être mise en place. Elle peut permettre par exemple :

- Pour le chauffage :
  - D'assurer les relèves en températures du système par période de grands froids
  - D'être utilisée en appoint en puissance lorsque la ressource géothermale ne permet pas de couvrir la puissance appelée par le bâtiment alimenté.
- Pour la climatisation :
  - D'assurer les abaissements en températures du système par période de grande chaleur

- D'être utilisée en appoint en puissance lorsque la ressource géothermale ne permet pas de couvrir la puissance appelée par le bâtiment alimenté.

Dans les deux cas, l'appoint sera de préférence placé en série sur le départ afin de limiter au maximum la température de sortie condenseur.

Il devra également éviter l'augmentation des températures de retour en entrée condenseur.

#### **5.4.6. Réglementation**

Les arrêtés du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP) et du 14 février 2000 portant approbation de dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public seront respectés, tout comme la norme NF EN 378. Même dans le cas où elles ne sont pas strictement applicables, ces textes demeurent des références en termes de règles de l'art.



## 5.5. Points critiques des installations de surface

Cette section vient mettre en exergue certains points critiques liés à la mise en œuvre d'un système géothermique, pour la partie production d'énergie.

### 5.5.1. Pompe A Chaleur

Il existe de nombreux types et modèles de Pompes A Chaleur. Les principaux critères de choix, selon le fonctionnement souhaité reposeront sur :

- La puissance souhaitée
- Le niveau de température / la présence ou non de glycol
- Le fluide frigorigène
- Les performances

### 5.5.2. Antigel

La mise en œuvre d'un liquide antigel est nécessaire dans un certain nombre de cas. Il est généralement considéré que s'il y a un risque que la température d'un circuit puisse être **inférieure à 3°C**, il est nécessaire que le liquide de ce circuit ne soit pas de l'eau pure qui risquerait de geler. C'est notamment le cas pour le circuit dans les sondes géothermales jusqu'à l'évaporateur de la Pompe A Chaleur inclus.

Dans ces cas, une protection antigel est nécessaire. Il s'agit en général de l'ajout d'un antigel tel que le monopropylène glycol : le circuit est alors rempli, non en eau pure mais en **eau glycolée**.

Dans le cas de la production de froid, pour éviter de glycoler l'ensemble du circuit de distribution, la mise en place d'un échangeur séparatif entre le circuit en extérieur et en local technique et le réseau de distribution du bâtiment est recommandée.

Il est à noter que l'ajout de glycol a pour effet la réduction de la puissance et des performances de la Pompe A Chaleur, l'augmentation des pertes de charge du réseau et la nécessité d'augmenter le débit de l'installation. **La prise en compte du taux de monopropylène glycol du circuit est nécessaire au bon dimensionnement et choix de la Pompe A Chaleur.**

Le taux de monopropylène glycol dans l'eau dépend de la température de protection nécessaire. Les taux suivants sont généralement admis :

- 25% pour une protection jusqu'à -8°C
- 33% pour une protection jusqu'à -12°C
- 40% pour une protection jusqu'à -18°C
- 50% pour une protection jusqu'à -32°C.

### 5.5.3. Ballon tampon

La mise en place d'un ballon tampon est recommandée, voire nécessaire et généralement préconisée par les différents fabricants de Pompe A Chaleur.

Il permet en effet le stockage d'un volume tampon permettant de faire face à de faibles besoins ou de pallier les variations de besoins rapides. Il permet ainsi d'éviter les courts-cycles de la Pompe A Chaleur et peut dans certains cas, pallier des besoins faibles sur de courtes durées et ainsi optimiser le dimensionnement de la Pompe A Chaleur dont le minimum technique (généralement compris entre 30 et 50% de la puissance nominale) est à prendre en compte dans le dimensionnement d'une installation.

Le dimensionnement du ballon tampon dépendra de la puissance de l'installation, des niveaux de température, du temps de fonctionnement minimal de la Pompe A Chaleur et du volume des réseaux de distribution.

Il sera nécessaire de dimensionner les débits primaires et secondaires du ballon de façon à ce que le débit primaire soit supérieur au débit secondaire (dans une limite de 30% maximum).

Le ballon devra être calorifugé et placé dans un local technique, afin de limiter les pertes thermiques.

### 5.5.4. Auxiliaires

Les règles de l'art pour des systèmes de production de chaleur ou de froid pour le choix et le dimensionnement des auxiliaires devront être respectées.

Une attention particulière sera portée aux pompes qui devront être à vitesse variable et à haut rendement pour ne pas dégrader les performances de l'installation.

### 5.5.5. Automatisation et Régulation

Il est recommandé la mise en œuvre d'un automate pour assurer le fonctionnement de l'installation. Cet automate sera ainsi à même de gérer les différents systèmes de l'installations : Pompe A Chaleur, Pompes, vannes motorisées, etc. Il permettra d'adapter la production aux besoins.

Cet automate pourra également servir de stockage de données de fonctionnement et de communication pour un suivi de l'installation à distance : suivi des performances avec les relevés de compteurs et paramètres de fonctionnement et suivi de l'installation avec des remontées d'alarme.

La programmation de cet automate et les tests qui seront réalisés est clé pour le fonctionnement de l'installation. Elle doit reposer sur une **analyse fonctionnelle de l'installation**. Cette analyse fonctionnelle a plusieurs objectifs :

- Optimiser le dimensionnement du système
- Permettre la régulation des équipements les uns avec les autres et s'assurer de leur compatibilité.

Plusieurs points de vigilance sont à noter :

- La **programmation d'une loi d'eau** (c'est-à-dire de la température de distribution et de production en fonction de la température extérieure) est nécessaire : on rappelle que l'on cherche toujours à optimiser les températures de fonctionnement pour améliorer les performances de la Pompe A Chaleur
- Les réduits (de nuit, week-end ou autres) de température en fonction de l'occupation du bâtiment permettront de réduire les consommations
- Le fonctionnement des organes de régulation (vannes motorisées et pompes), tout comme la Pompe A Chaleur devra y être asservi.



## L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

### LES COLLECTIONS DE L'ADEME



#### ILS L'ONT FAIT

*L'ADEME catalyseur* : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



#### EXPERTISES

*L'ADEME expert* : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



#### FAITS ET CHIFFRES

*L'ADEME référent* : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



#### CLÉS POUR AGIR

*L'ADEME facilitateur* : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation



#### HORIZONS

*L'ADEME tournée vers l'avenir* : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



# BOITE A OUTILS TECHNIQUES GEOOTHERMIE DE SURFACE (ou GEOOTHERMIE TRES BASSE ENERGIE)

## NOTICE DESCRIPTIVE

Le présent document a pour objectifs de :

- Décrire les principales configurations d'installations de géothermie de surface rencontrées dans l'habitat collectif et le tertiaire
- Présenter les points techniques critiques de ces installations dans les phases de conception, réalisation puis de suivi d'exploitation

***Associé à la schémathèque,  
ce document est un mémo  
pour les étapes de  
conception et réalisation  
d'un projet de géothermie  
très basse énergie***



[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

