

Exploiter la ressource géothermique pour chauffer/rafraîchir les bâtiments publics

Réunion du réseau Génepy, 5 mai 2020

Note rédigée par Jérôme BUFFIERE - ALEC



VOTRE PARTENAIRE PUBLIC EN ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

 **ALEC**
AGENCE LOCALE
DE L'ÉNERGIE ET DU CLIMAT
Métropole grenobloise

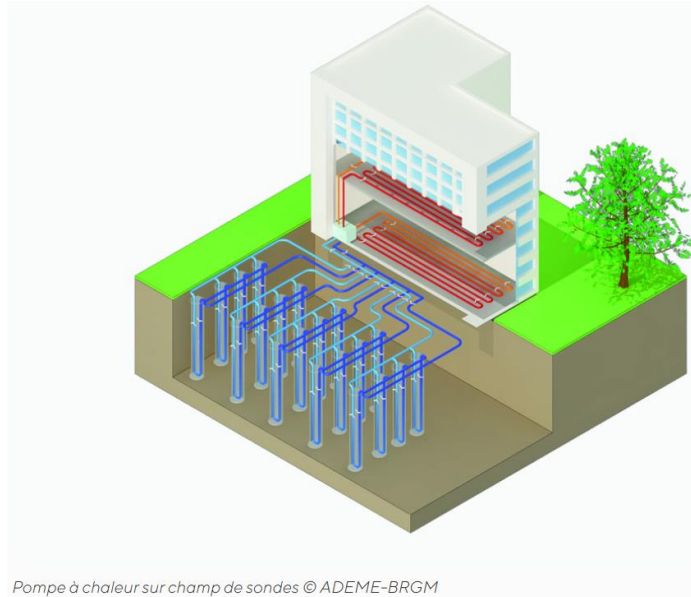
Sommaire

Les principaux systèmes géothermiques.....	3
Le contexte réglementaire	5
Réalisation d'un forage sur eau de nappe et prestations associées	6
Détermination de la puissance thermique.....	6
Détermination du potentiel de la ressource au lieu du projet.....	6
Opérations préalables au forage	9
Réalisation des forages.....	9
L'entretien du forage et de ses équipements	14
L'exploitation et suivi des performances de la PAC	15
L'entretien de la PAC	16
Retours d'expériences : désordres des PAC sur nappe aquifère et solutions.....	19
Aides Fonds Chaleur et accompagnement.....	21
Annexe : ressources.....	22

Les principaux systèmes géothermiques

2 systèmes géothermiques principaux peuvent être utilisés pour chauffer/rafraîchir les bâtiments :

- Forages équipés de sondes géothermiques verticales dans lesquelles circulent de l'eau glycolée (ou de l'eau) en circuit fermé, couplés à une pompe à chaleur



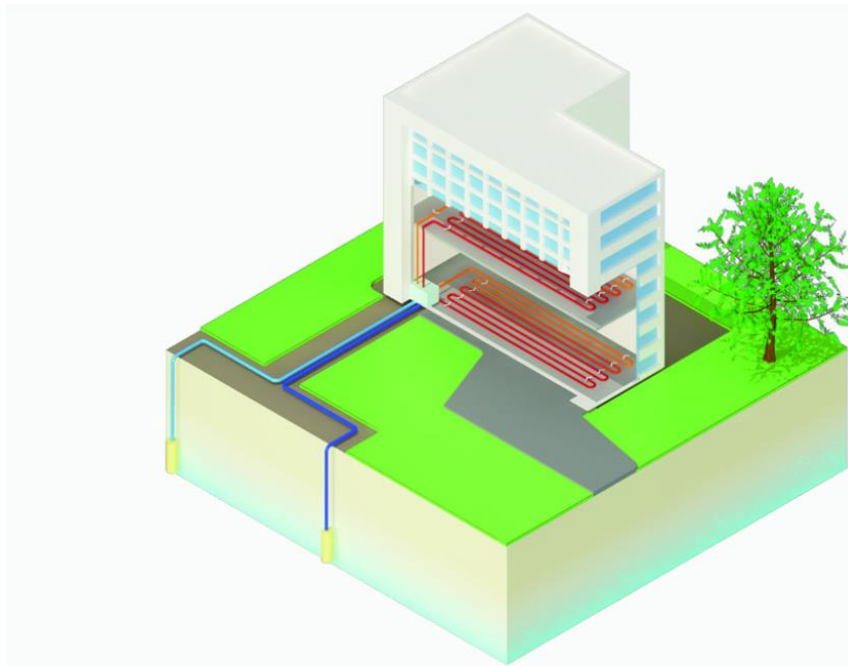
Compte tenu de la puissance thermique récupérable sur le sous-sol (env. 50W/mètre linéaire), plusieurs sondes de profondeur légèrement inférieure ou égale à 200m (pour rester dans le cadre réglementaire de la GMI) sont nécessaires pour alimenter un bâtiment.

Pour illustration, 8 sondes de 200m sont nécessaires pour qu'une PAC puisse fournir env. 100kW de puissance thermique. Ces sondes doivent être distantes d'env. 8m les unes des autres, et peuvent être associées aux pieux des fondations d'un bâtiment (plus adapté donc aux bâtiments neufs).

Ce système peut s'implémenter sur une très grande partie du territoire y compris en montagne, à l'exception de zones karstiques (la cimentation des puits serait alors impossible).

Il n'a pas à notre connaissance été implémenté sur la métropole de Grenoble jusqu'à présent.

- Forages sur nappe aquifère couplés à une PAC et/ou un échangeur de Géocooling



Pompe à chaleur sur nappe © ADEME-BRGM

Un doublet géothermique est réalisé dans la nappe phréatique : un forage pour le puisage et un second pour la réinjection de l'eau de nappe. Il s'agit d'un système ouvert, où l'on prélève des calories ou frigories directement sur l'eau de nappe, au travers d'une pompe à chaleur (protégée de préférence par un échangeur en amont), ou d'un échangeur statique pour rafraichir les locaux (« géocooling »), sans utiliser le mode froid de la PAC.

Dans la suite de la note, c'est ce second système qui fera l'objet d'échanges et de retours d'expériences, le premier n'ayant pas été mis en œuvre jusqu'alors.

Le contexte réglementaire

Les projets potentiels sur les bâtiments publics situés sur la métropole de Grenoble sont soumis au régime de la GMI « géothermie de minime importance ».

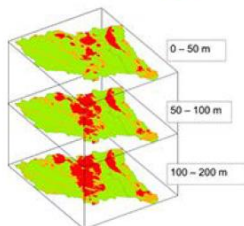
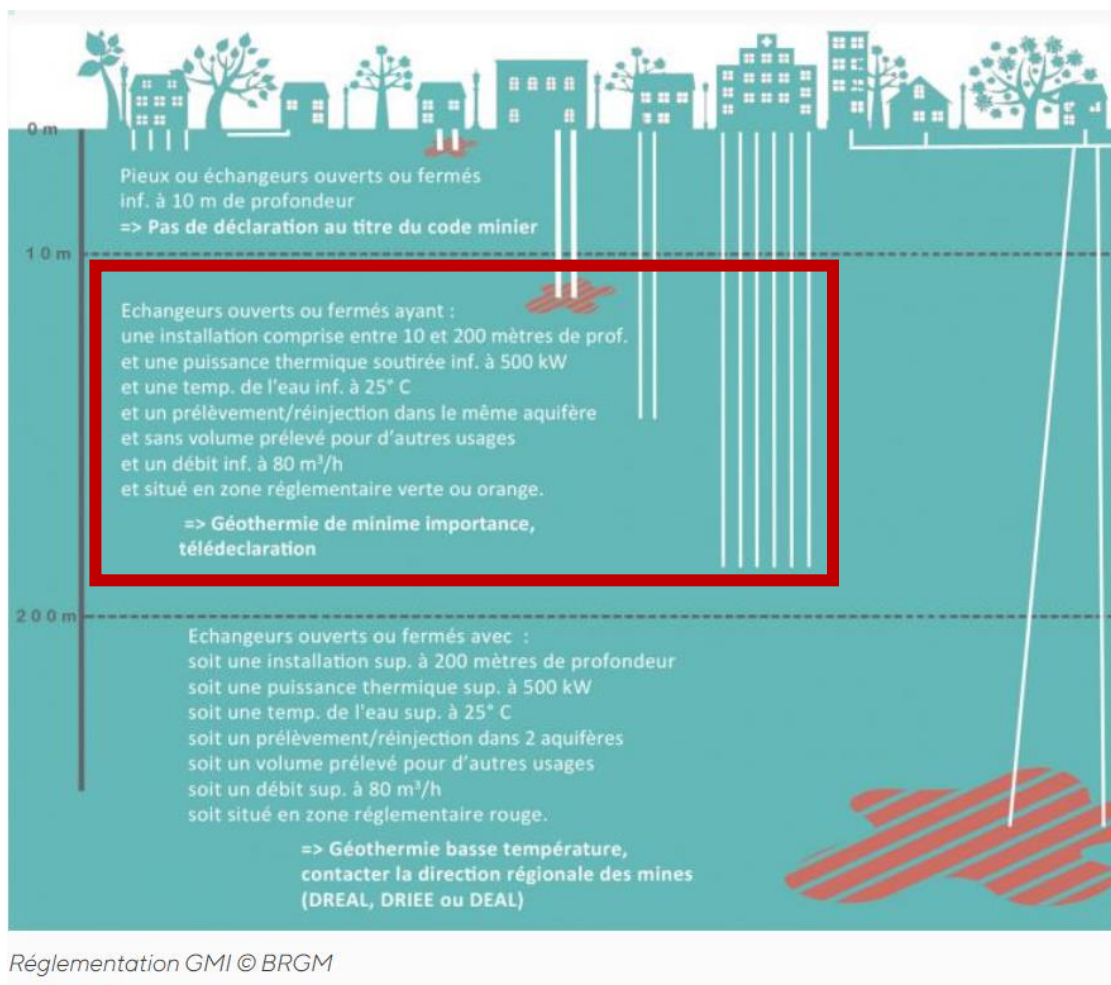


Figure 8 : carte de France des zones réglementaires relatives à la géothermie de minime importance pour doublet sur nappe (source : www.cfms-sols.org)

A partir du site geothermies.fr, on trouve un lien pour consulter la carte de l'arrêté du 25 Juin 2015 sur l'espace cartographique (définir les couches de cartes souhaitées).

Lorsque le projet se situe en zone verte, une simple déclaration en ligne est nécessaire, réalisée généralement par le bureau d'étude hydrogéologue dans sa prestation.

En zone orange, il faut associer à cette déclaration l'avis d'un expert agréé, alors qu'en zone rouge une autorisation est requise.

Un lien vers le site officiel du gouvernement (<https://www.geothermie.developpement-durable.gouv.fr>) permet de créer un compte lié au projet et de réaliser la télé déclaration. Cette dernière est souvent réalisée par le bureau d'étude hydrogéologue pour le compte du maître d'ouvrage. Elle comprend des données sur la localisation et les données techniques du sous-sol, du forage, des équipements installés.

Tutoriel télé déclaration : <https://www.youtube.com/watch?v=LH-aRia6lpQ>

Réalisation d'un forage sur eau de nappe et prestations associées

Le rapport RAGE de 2014 (lien en Annexe) indique la chronologie des actions à réaliser pour un projet de géothermie sur eau de nappe, ainsi que les prestataires concernés (cf tableaux ci-après).

Des bureaux d'étude thermiques (associés sous l'appellation de « l'installateur » dans les tableaux suivants) et bureaux d'études hydrogéologues (associés au « Foreur ») interviennent également lors de ce type de projets.

Détermination de la puissance thermique

Le bureau d'étude dimensionne les besoins en puissance du projet, qui détermineront la nature et la puissance de la pompe à chaleur, ainsi que les débits de puisage nécessaires.

La puissance thermique instantanée récupérée sur le puit est égale au débit instantané en m³/h * Delta T *1.16.

15m³/h devront par exemple être disponibles pour disposer de 70 kW de puissance (en entrée PAC) avec un delta de température de 4°C entre le puisage et la réinjection.

Détermination du potentiel de la ressource au lieu du projet

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
1	Conception et dimensionnement			
	Réalisation de l'étude thermique		<input type="checkbox"/>	
	Puissance calorifique nominale de la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	
	Durée prévisionnelle de fonctionnement*		<input type="checkbox"/>	
	Puissance frigorifique nominale de la pompe à chaleur *		<input type="checkbox"/>	

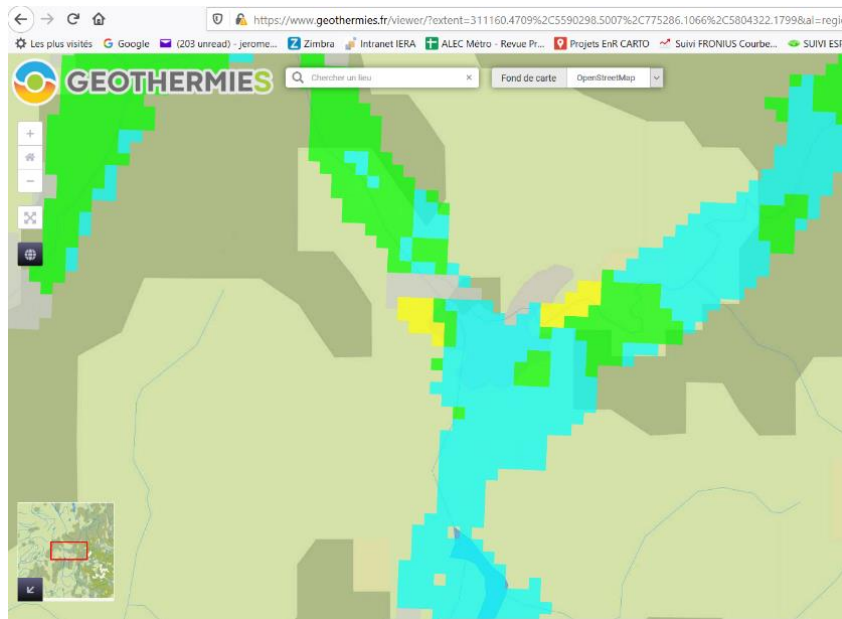
(*) Données à communiquer au foreur

▲ Figure 1 : Récapitulatif des opérations de conception et dimensionnement

La caractérisation de la ressource à l'endroit du projet est un élément clé du projet. Le prestataire hydrogéologue, en lien avec le foreur, a pour mission de caractériser ce potentiel et peut se servir de différents moyens.

Des cartographies au niveau local existent:

- ✓ **Données BRGM cartographiées** accessibles sur **geothermies.fr**, indiquent le potentiel pour des projets sur nappe ou sur sonde



Ces indications donnent une information globale sur le potentiel au niveau de la zone, mais demeure insuffisamment précis.

- ✓ **Indications sur le périmètre de la ville de Grenoble**

Cette cartographie sur la ville de Grenoble, basée sur la nature des sols, le retour d'expérience et mesures de capteurs piézométriques.

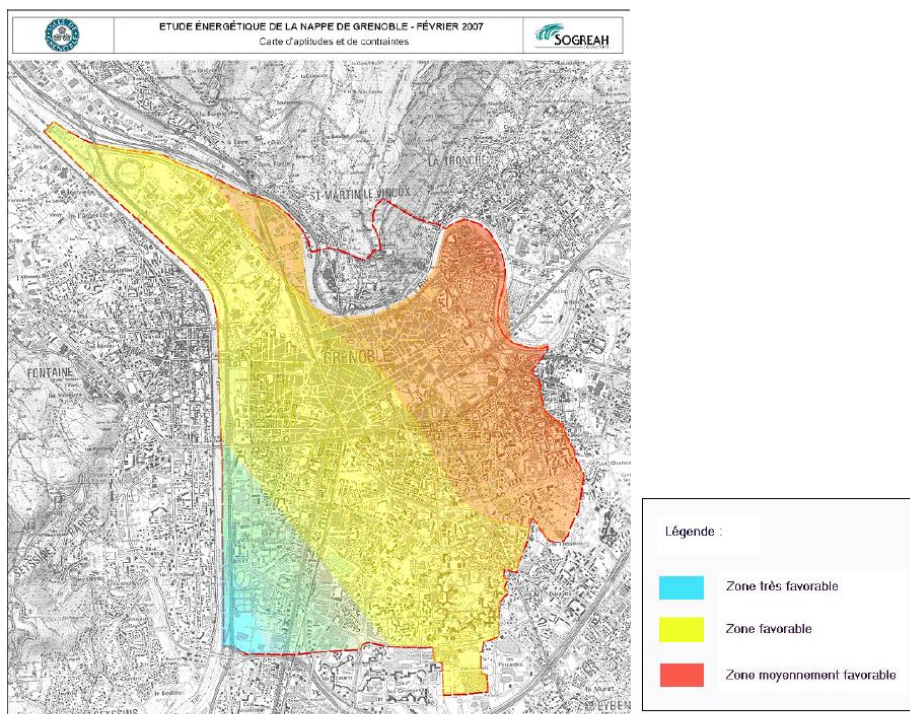


Figure 7 - Carte d'aptitudes et de contraintes

On observe que les abords du Drac, dont le sous-sol est constitué de graves, constituent un terrain généralement favorable.

En revanche le secteur ile verte à Grenoble est déconseillé. Un projet de Grenoble Habitat (44 logts au 35 rue Blanche Monnier) illustre ce problème et constitue une contre référence. Une PAC géothermique a été installée mais le forage nécessite des curages trop fréquents et coûteux, qui le rendent inexploitable : 15k€ tous les 2 ou 3 ans seraient nécessaires pour son utilisation.

✓ **Un cadastre métropolitain fin 2020**

Cet outil en cours de réalisation permettra de mieux appréhender le potentiel géothermique sur l'ensemble du territoire de Grenoble Métropole : nature du sous-sol, projets déjà implémentés à proximité, puissance disponible.

La consultation de la base de données du BRGM (alimentée par les télé déclarations) permet aux bureaux d'étude hydrogéologues de connaître les puisages déclarés à proximité.

L'expérience des foreurs est souvent utile pour connaître les caractéristiques du sol, le risque d'incidence ou de vulnérabilité du projet vis-à-vis de puisages à proximité.

Un forage piézométrique test de petit diamètre peut être réalisé pour caractériser le sous-sol, mais il existe toujours une « incertitude sur la ressource » et seul le test du forage définitif permet réellement de valider la ressource.

Le rejet doit être réalisé dans l'aquifère de puisage. Il est nécessaire de calculer la distance entre les ouvrages afin d'éviter les interférences thermiques entre les deux puits, et de tenir compte de l'écoulement de la nappe souterraine.

>> Retex communes

Seyssinet :

Crèche + centre social l'Arche : 2 forages de puisage, et un commun en aval de la nappe (à la limite Nord du terrain) pour la réinjection. La détermination de la position du 2^e forage n'a pu se faire que suite à la réalisation et le test du 1^{er} forage. Cette zone proche du Drac est plutôt favorable, les analyses d'eau ont montré de bonnes propriétés. Il est même à noter que depuis 2012, aucun entretien particulier n'a été réalisé sur le puit, celui sur l'échangeur séparant le circuit d'eau de nappe du circuit de plancher rafraichissant a été fait pour la première fois en 2019.

Projet nouvelle crèche: le BET Ginger a réalisé les études préalables qui auguraient d'une faisabilité du projet à priori (situé à 300m de celui de l'Arche). Un forage test, préalable au chantier, réalisé en phase APS, a été réalisé et s'est avéré infructueux. Sur une profondeur de 25m il a mis en évidence une couche argileuse dans le sous-sol incompatible avec l'exploitation d'une eau de qualité (trop de fines auraient été générées). Le cout de cette opération (forage piézo dans un premier temps puis forage en petit diamètre à 25 m) fut de 10000€. Il convient donc d'anticiper les test et forages dans un projet géothermie et être dans un cadre assez souple de consultation pour pouvoir rebondir en cas d'impossibilité lié à un défaut de ressource.

Opérations préalables au forage

Le foreur prépare les plans d'exécution, et détaille les matériels/méthodes qui seront utilisées

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
2	Préparation du chantier			
	Aménagement du terrain	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disponibilité des moyens (électricité, eau...)	<input type="checkbox"/>		
	Vérifications des accès			<input type="checkbox"/>
	Recherche documentaire sur le site <i>infoterre</i>			<input type="checkbox"/>
	Déclaration Intention Commencement Travaux (DICT)	<input type="checkbox"/>		
	Déclaration de l'ouvrage	<input type="checkbox"/>		
	Vérification de la déclaration de l'ouvrage		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Plans d'exécution, notes de calcul, études de détail			
	Elaboration et présentation des documents			<input type="checkbox"/>
4	Méthode de forage			
	Présentation du matériel et de la (ou des) méthode(s) de forage			<input type="checkbox"/>
5	Fluide de circulation			
	Information du type de fluide et des additifs utilisés			<input type="checkbox"/>
	Prévention des incidents (risques d'utilisation, pertes)			<input type="checkbox"/>

La profondeur des forages n'est donnée qu'à titre indicatif, la détermination exacte ne pouvant être faite qu'en cours de travaux.

Réalisation des forages

La réalisation du forage sur eau de nappe est régie par la norme NFX 10-999.

La succession des actions à réaliser par l'installateur et le foreur sont décrite ci-après :

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
6	Forage sur nappe			
	Prélèvement d'échantillons à chaque mètre			<input type="checkbox"/>
	Remise des échantillons au maître d'ouvrage			<input type="checkbox"/>
7	Réalisation de l'ouvrage			
	Réalisation du soutènement des terrains			<input type="checkbox"/>
	Cimentation autour des tubes de soutènement			<input type="checkbox"/>
	Mise en place de la colonne captante			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une fermeture de fond pour crépine			<input type="checkbox"/>
	Mise en place d'une colonne de tubes pleins pour prolongement de la crépine			<input type="checkbox"/>

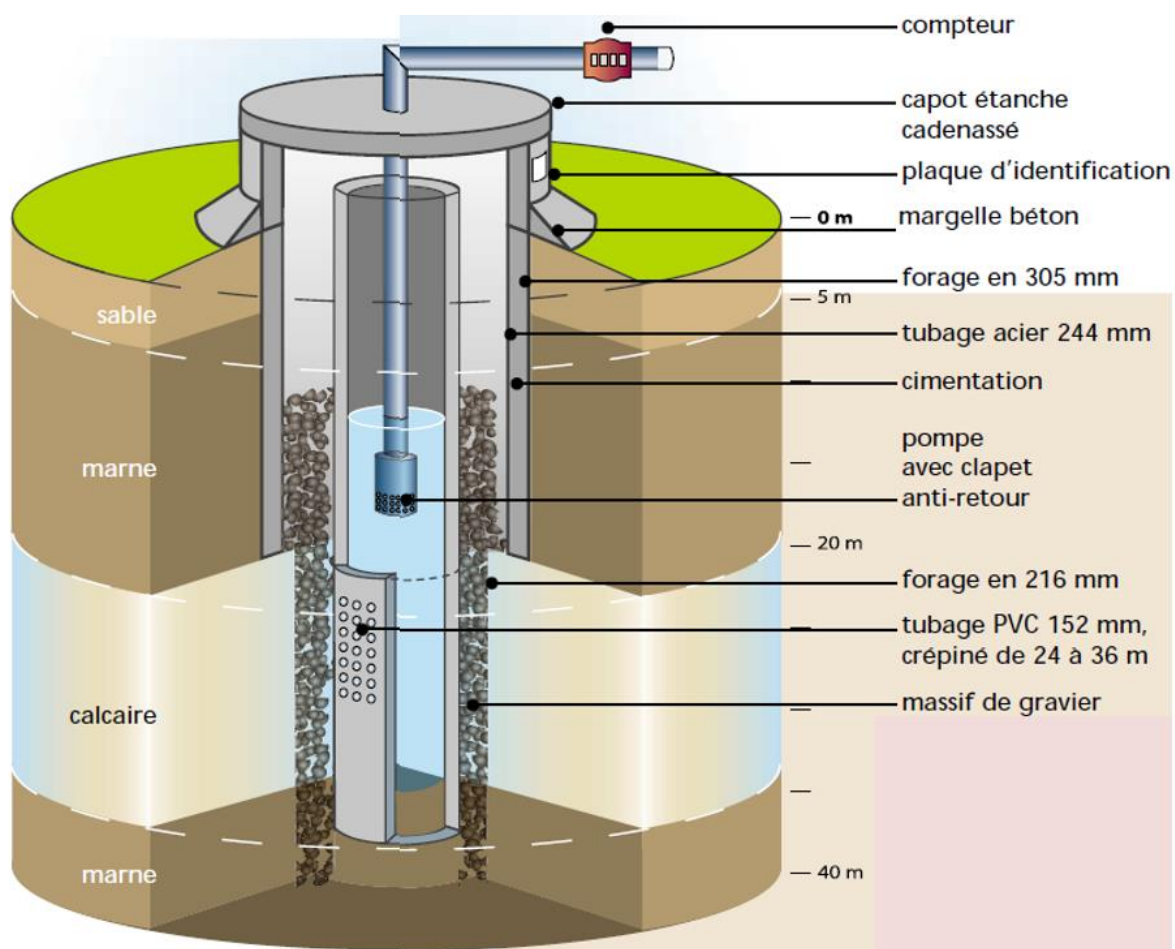
▲ Figure 8 : Récapitulatif des opérations à mener lors d'un forage sur nappe

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
8	Opérations préalables à la mise en service du forage sur nappe			
	Lavage du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Traitement chimique éventuel			<input type="checkbox"/>
	Nettoyage du puits à l'émulsion d'air			<input type="checkbox"/>
	Développement du puits de captage			<input type="checkbox"/>
	Pompages d'essais			<input type="checkbox"/>
	Prélèvements d'eau et analyses			<input type="checkbox"/>
	Communication des résultats à l'installateur			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 9 : Récapitulatif des opérations préalables à la mise en service d'un forage sur nappe

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
9	Protection de l'ouvrage en cas de forage sur nappe			
	Protection des eaux superficielles (réalisation d'une aire bétonnée autour du tube de tête...)			<input type="checkbox"/>
	Protection de la tête de forage			<input type="checkbox"/>
	Protection physique de l'ouvrage			<input type="checkbox"/>
	Protection contre les eaux de remontées artésiennes			<input type="checkbox"/>

▲ Figure 10 : Récapitulatif des opérations de protection de l'ouvrage de forage sur eau de nappe



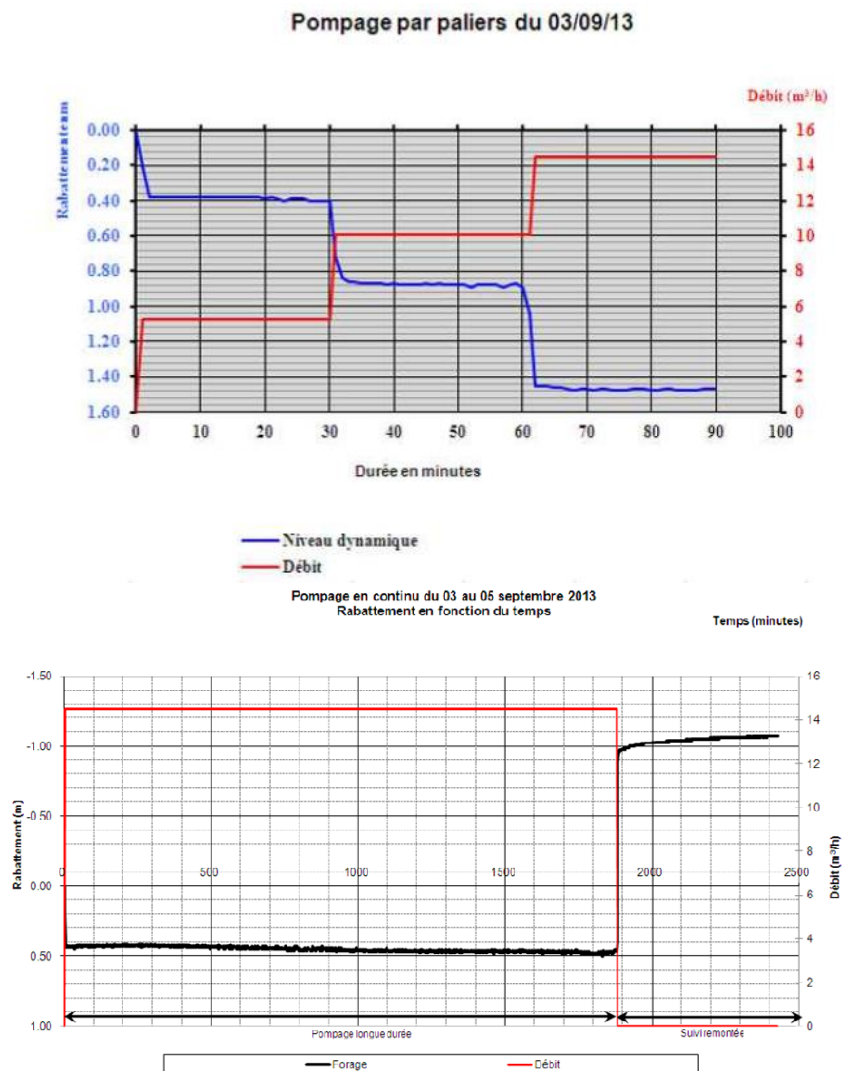
Coupe d'un forage et de ses équipements

Quelques remarques sur ces points spécifiques :

✓ **Pompages d'essais**

Préalablement à la mise en service du forage, il est nécessaire de réaliser **des tests hydrauliques** (article 9 de l'arrêté du 11/09/03) pour définir les conditions d'exploitation qui garantiront une longue vie au forage et ne mettront pas la ressource en péril:

- **l'essai de puits**, composé de **pompages par paliers** enchaînés à débit croissant et de courte durée (1 heure), permet de définir le débit maximal exploitable sur l'ouvrage ;
- **l'essai de nappe** est un **pompage en continu** de longue durée (24 heures au moins) qui permet de vérifier si la nappe est capable de fournir durablement le débit d'exploitation défini lors de l'essai de puits.



Exemple pompages par paliers et continus - Etude Hydrogéologique Geothech St Egreve Pole Enfance

C'est à partir de ces deux essais que seront définis le débit de la pompe qui équipera l'ouvrage, sa position et le régime d'exploitation ; ceci pour protéger à la fois la ressource, le forage et la pompe.

✓ **Analyse physico chimique de l'eau de nappe**

Les performances d'un forage géothermique peuvent être affectées par des phénomènes physiques, chimiques et bactériologiques. Les désordres généralement constatés dans les forages sont les colmatages et la corrosion. Les colmatages sont causés par des incrustations de matières et de corps étrangers qui se déposent et s'accumulent dans les forages.

On peut rencontrer :

- Des dépôts formés de carbonates et sulfates ;
- Des précipités formés par des composés ferreux, manganeux qui peuvent à terme obstruer totalement l'ouverture des crépines. Ces dépôts apparaissent lorsque le fer est mis en condition aérobie provoquant la précipitation d'hydroxydes de ferriques ;
- Des boues engendrées par le développement de bactéries ;
- Des colmatages provoqués par des particules fines de l'aquifère qui se déposent soit dans le fond de l'ouvrage, soit autour de la crépine.

La corrosion est le phénomène faisant apparaître des perforations des tubages métalliques qui entraînent à terme la fragilisation des tubages et l'introduction de particules dans l'ouvrage. Ces particules engendrent ensuite des colmatages ou dans le cas du sable, une usure des équipements de pompage. Les principales causes de la corrosion sont dues à des phénomènes chimiques ou électrochimiques.

Les conditions d'exploitation peuvent être affectées par les éléments et gaz dissous dans le fluide issu de l'aquifère.

La concentration d'un composé dissous s'exprime en g/l, ppm, ou mol/l.

Les conditions d'apparition de la corrosion ou de dépôts sont favorisées par les situations suivantes :

- pH des eaux acides (pH <7),
- Présence d'oxygène dissous,
- Présence d'hydrogène sulfuré (H₂S),
- Présence de CO₂ (> 50 ppm),
- Présence de chlore (>300 ppm).

D'autres indicateurs sont à prendre en compte :

- GLR ou « gas liquid ratio » qui mesure la quantité de gaz libéré par l'eau à pression atmosphérique ;
- PB : pression de point de bulle, pression au-dessous de laquelle il y a séparation de phase entre le liquide et les gaz dissous ;
- Présence de bactéries (ferroréductrices, sulfatoréductrices...).

L'accès aux éléments permettant le retrait de la pompe dans le cadre de la maintenance doit être prévu (portique, chèvre support palan).

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
10	Raccordement à la pompe à chaleur			
	Robinet d'isolement en attente		<input type="checkbox"/>	
	Descente de la pompe dans le forage		<input type="checkbox"/>	
	Raccordement en tête de forage avec tuyauterie de liaison avec la pompe à chaleur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition de la tuyauterie de liaison en tranchée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Disposition d'un grillage avertisseur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 11 : Récapitulatif des opérations de raccordement à la pompe à chaleur pour un forage sur nappe

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
11	Finalisation de l'ouvrage			
	Remise en état des lieux avec évacuation des déblais et des boues de forage			<input type="checkbox"/>
	Remise en état du terrain			<input type="checkbox"/>
	Toute opération complémentaire doit être contractualisée		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 12 : Récapitulatif des opérations de finalisation de l'ouvrage pour un forage sur nappe

N°	Désignation	Maître d'ouvrage	Installateur	Foreur
12	Dossier technique			
	Descriptif des travaux réalisés			<input type="checkbox"/>
	Rapport de forage (avec relevés d'avancement et de prises d'échantillons)			<input type="checkbox"/>
	Profil de forage (profil géologique, coupe technique, type(s) d'aquifère(s) traversés(s), diagraphie éventuelle)			<input type="checkbox"/>
	Protocole de pompage			<input type="checkbox"/>
	Analyse d'eau			<input type="checkbox"/>
	Rapport de fin de travaux			<input type="checkbox"/>
	Procès-verbal de réception	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

▲ Figure 13 : Récapitulatif des éléments minimaux composants le dossier technique pour un forage sur nappe

>> Retex communes

St Egreve : Pôle enfance : Suite à un diag postérieur à l'installation, il s'avère que la protection de la tête de l'ouvrage n'est pas conforme à la réglementation (fermeture en surface et non surélevée, non verrouillable, ni étanche).

Fontaine : Salle de spectacle La Source : un curage a dû être réalisé sur le puit en 2014, quelques années après la mise en service, pour cause d'une inétanchéité de la tête de puit qui a laissé pénétrer des eaux pluviales responsable de développement de boues. La performance énergétique du bâtiment est étroitement corrélée à la qualité du puisage, ainsi la consommation d'électricité a baissé suite au curage

L'entretien du forage et de ses équipements

Les principaux problèmes rencontrés sont liés à la corrosion des tubages qui peuvent se perforer. C'est pourquoi les forages doivent être régulièrement entretenus. Dans certains cas, une inspection doit obligatoirement être réalisée au moins tous les dix ans

L'arrêté GMI demande une surveillance annuelle des installations (art. 5.2.1 annexe arrêté du 25 juin 2015 relatif à la géothermie de minime importance axée sur le réseau primaire (eau de nappe).

De manière générale, en exploitation, il convient de maintenir :

- Une surveillance régulière des paramètres de réinjection : débit, charge hydraulique, Les niveaux d'eau (niveaux statique et hydrodynamique) des puits de production et de réinjection, contrôle régulier de la qualité des eaux (paramètres physico-chimiques, sable, amas gélatineux, ...), et des filtres ;
- Consignation des mesures réalisées, dans le carnet de suivi du puits ;
- Une surveillance régulière de l'état de l'équipement : inspection vidéo tous les 5 à 10 ans (lors des opérations de nettoyage ou remplacement des pompes par exemple)

Afin de permettre une surveillance efficace de l'exploitation, il est important que l'installation soit instrumentée (mesure de débit, surveillance des puits) et que le programme de surveillance soit adapté au type d'aquifère capté et à ses conditions d'utilisation.

L'entretien doit être effectué par un professionnel RGE Qualiforage nappe.

>> Retex communes

Seyssinet : Crèche/Arche : Après 7 années d'exploitation sans entretien particulier, la mairie envisage de faire inspecter et nettoyer la crépine, de même que la pompe de puit.

Grenoble : Bâtiments mairie / conservatoire 2 forages pour alimenter des groupes froids. Prestation entretien biannuel par Ets CROS des pompes à débits variables (bon de commande). Extraction de la pompe (située à 26m à la mairie), nettoyage, inspection du puit.

1 Pompe de puisage en stock pour la mairie, échange réalisé tous les 4/5 ans avec la pompe en place (500€ht grue SMMI ou Mediac), et remise en état de la pompe extraite (Ets Cros 1500€ht). Pour le Conservatoire, 2 pompes immergées, retirées et révisées simultanément durant une période d'inoccupation (indisponibilité d'1 mois tous les 4/5 ans, cout 3500€ht). Pole « La chaufferie » à Teisseire (pas de PAC, uniquement Geocooling) : retrait et entretien de la pompe prévu tous les 10 ans (cout 6000€ht) . A l'école Simone Lagrange sur presqu'île, le puit est situé dans la cour de l'école non accessible à des lourds engons, il faudra utiliser une « chèvre » pour retirer la pompe, bien penser en amont à prévoir les accès de grues nécessaires à une maintenance aisée.

Filtres : à la mairie, 2 filtres 100microns (1 en secours), et non 300microns car zone potentiellement défavorable en terme de qualité d'eau. Entretien tous les 15 j, extraction des boues et rinçages manuels. Au conservatoire, système de filtration autonettoyant manuel (filtre AMIAD 300 microns) , la maintenance est plus aisée car elle se fait en service. L'action d'un racloir permet de rassembler les boues et de les déverser vers l'égout.

Compteurs volumétriques à la mairie : Taxe Agence de l'eau 8€/1000m3 puisés

St Egreve : Parc de Vence Puisage pour arrosage/jet d'eau. Système à présent hors d'usage à cause de colmatage (par carbonate de calcium). Travaux de traitement de l'eau et de filtration en cours, mais qui auraient dû être anticipés par une analyse d'eau initiale.

L'exploitation et suivi des performances de la PAC

Il convient de mettre en place un suivi d'indicateurs afin de s'assurer de la performance du système, et du bâtiment, dans la durée : volumes prélevés dans la nappe, énergie thermique produite, consommations électriques PAC et auxiliaires, COP saisonniers.

Le **COP** est défini par le rapport entre la chaleur produite par la PAC, et sa consommation électrique (COP Machine), ou la consommation électrique de la PAC et de ses auxiliaires (COP Système). Plus le COP est important plus le système est performant. Il est d'autant plus grand que la différence de température entre la source de chaleur (température de l'eau puisée dans la nappe) et la température du circuit d'émission de chaleur en aval de la PAC est faible. Ainsi il convient de privilégier des émetteurs de chaleur fonctionnant à plus basse température possible.

Il est toutefois possible à présent de produire de l'eau chaude sanitaire avec des PAC qui assurent une production d'eau à 65°C.

En fonctionnement été, la PAC réversible peut aussi fonctionner en mode de production de froid. Le système de géocooling demeure toutefois à privilégier car il est moins consommateur d'électricité (et de fluides réfrigérants).

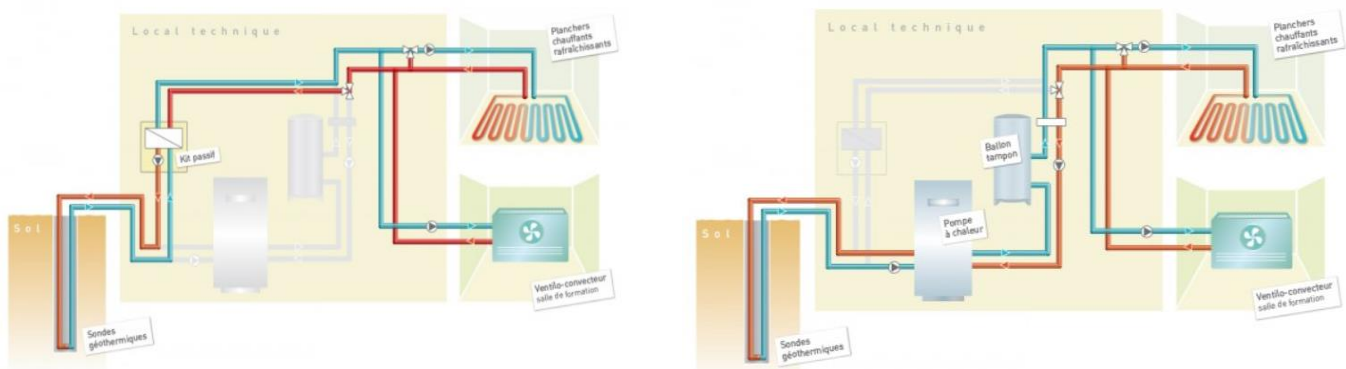


Schéma de principe Free cooling (ou Geocooling) à gauche, et rafraîchissement actif par la PAC à droite (Source <https://batiment.izuba.fr>)

Attention à porter au dimensionnement afin d'éviter les courts cycles

Une attention particulière est à porter sur le suivi des durées de cycles de la PAC (intervalles entre les allumages et arrêts des compresseurs). Plus ces cycles sont courts (durée < 30 min entre allumage/arrêt), plus la durée de vie des compresseurs sera limitée. Le remplacement d'un compresseur au bout de quelques années peut constituer une dépense non prévue et relativement élevée (plusieurs milliers d'euros).

Le recours à un volume « tampon » suffisamment important entre la PAC et la distribution de chauffage, supérieur à celui conseillé par les fabricants, est nécessaire pour limiter ce phénomène. Il permet en effet de lisser les appels de puissance. La conception d'une installation avec production et soutirage régulier d'eau chaude sanitaire est par contre plus problématique pour gérer ces courts cycles (la nécessité d'un maintien en température du ballon autour de 58°C nécessite un apport de chaleur fréquent).

>> Retex communes

Seyssinet : l'Arche :

Le système assure avec satisfaction la production de chaleur depuis 7 ans. Pour le rafraîchissement, Le mode froid de la PAC n'est pas utilisé. Seul le géocooling est utilisé avec une inversion de

fonctionnement du circuit et de la V3V des panneaux rayonnants, afin de réguler le circuit et d'éviter la condensation dans le bâtiment

Un suivi était demandé dans le cadre de la demande Fonds Chaleur. Il a fallu du temps avant qu'il puisse se mettre en place ; plusieurs compteurs, notamment sous comptages électriques n'étaient pas installés correctement au départ. Le COP annuel (saisonnier ?) est de 4 environ : résultat correct (COP objectif 4,27).

Grenoble : Ecole Simone Lagrange à Presqu'île

L'installation fonctionne depuis fin 2017. Pas de pannes de la PAC. Elle assure la production de chauffage sans problème. L'exploitation s'effectue en régie, les techniciens intervenant ont la compétence de frigoristes (entretien et contrôle règlementaire, étanchéité du fluide frigorigène)

Le système est prévu pour pouvoir faire du rafraîchissement (par géocooling et PAC en mode froid) mais il n'a pas eu à être utilisé pour l'instant.

De nombreux compteurs/capteurs sont présents pour suivre le volume puisé, le débit instantané, la température des eaux puisées/réinjectées dans la nappe.

Les sous comptages thermiques sont présents mais les sous compteurs électriques n'ont pas été installés de manière à bien estimer le COP de l'installation. Il y a simplement un compteur comptabilisant l'ensemble des équipements de la chaufferie. On peut ainsi estimer un COP saisonnier global de 3.3, ce qui est correct.

Le temps de cyclage constaté est effectivement inférieur à 30 min. Il est déduit à partir du nombre d'allumage indiqué par la PAC, comparé au temps écoulé entre deux relevés.

Etiquette DPE égale à C , due à l'emploi d'électricité

L'entretien de la PAC

Il convient de s'assurer que le contrat de maintenance et exploitation prévoit, outre les opérations de maintenance classique des différents organes du système de production de chaleur, les actions de maintenance propres à la PAC.

Ces opérations nécessitent des compétences de frigoristes et sont indispensables à réaliser pour un maintien du matériel dans la durée. Les sociétés d'exploitation, ou les installateurs qui se voient confier l'entretien la première année après l'installation, n'ont pas toujours la connaissance précise du matériel installé, aussi une intervention du fabricant est souhaitable (formation des techniciens à ces opérations, tant sur le pilotage des réglages internes, que la maintenance des composants de la PAC).

Maintenance du compresseur

Compresseurs :	H	M	T	S	A	SB
Contrôle des pressions d'aspiration et de refoulement		X				
Contrôle de la charge de fluide frigorigène		X				
Recherche de fuite de fluide frigorigène					X	
Appoint de fluide frigorigène						X
Relevé des compteurs horaires de marche		X				
Essais de la régulation de puissance			X			
Essais des pressostats HP / BP et huile			X			
Relevé d'intensité du moteur			X			
Test d'acidité de l'huile					X	
Contrôle des résistances de carter					X	
Contrôle des plots antivibratiles					X	
Contrôle des connexions électriques					X	

Formation Grenoble

E. RAUZIER

Maintenance échangeurs / commande

Condenseurs / Evaporateurs :	H	M	T	S	A	SB
Contrôle des températures (circuits eau et air)		X				
Mesure et réglage des débits					X	
Contrôle du réglage du détendeur			X			
Vérification du contrôleur de débit d'eau				X		
Contrôle du thermostat antigel				X		
Nettoyage des condenseurs et évaporateurs à air				X		
Coffret de commande :						
Essai de l'arrêt d'urgence			X			
Contrôle du serrage des connexions					X	
Contrôle du relayage					X	
Contrôle du réglage des relais thermiques					X	
Contrôle de l'état des presse-étoupes					X	
Nettoyage / Dépoussiérage						X

Formation Grenoble

E. RAUZIER

>> Retex communes

Seyssinet : Crèche/Arche : La première année d'exploitation par l'installateur, qui ne disposait pas de qualification suffisante, il y a eu quelques problèmes de réglage. Une intervention coûteuse du fabricant a dû être réalisée pour la mise en service et les premiers entretiens. Par la suite, l'exploitation de la PAC a été confiée à Engie qui dispose de personnels qualifiés et formés par le fabricant. Cout entretien complet (PAC, 2 CTA et 1 climatisation monobloc) 1029€ht/an

Grenoble : L'exploitation des PAC s'effectue en régie, les techniciens intervenant ont la compétence de frigoristes.

St Egrève : La Vence Scène : un forage géothermique participe au rafraichissement de la salle de spectacle (via la CTA) au travers d'un système « complexe » comprenant une cuve reliée aux eaux pluviales et à l'eau du réseau (autres usages : arrosage, WC). Manque de moyen jusqu'à présent pour faire un suivi de cette installation. **Lorsqu'on réalise une installation de ce type, absolument prévoir les ressources nécessaires à son suivi et son entretien.**



Retours d'expériences et synthèse des points de vigilance

- ✓ **Etude ADEME AURA : Retours des audits d'installations géothermiques régionales (sur 8 Sites, en 2019) - voir Ressources en annexe**

Dans cette étude réalisée par Inddigo et Antéa en région AuRA, commandée par l'ADEME, les points suivants, de gravité variable à moyenne, sont signalés :

- Entretien et suivi de la nappe
 - Asservissement des pompes de puit au fonctionnement de la PAC
 - Mise en place d'un suivi d'indicateurs (volumes prélevés, énergie produite, consommations électriques PAC et auxiliaires, COP saisonniers)
- ✓ **Etude AQC Installations Géothermiques Basse Température : Points de Vigilance (2018) voir Ressources en annexe**

Selon l'étude de l'AQC, la pathologie principale des PAC sur aquifère est liée à la prise en compte des caractéristiques de la ressource de l'aquifère.

- **Corrosion de la PAC / Encrassement des filtres et échangeurs**

Dans ce cas observé par l'AQC, l'absence d'un échangeur intermédiaire entre le puisage et la PAC est à l'origine du désordre. Une analyse d'eau aurait permis de l'anticiper. Un autre cas de méconnaissance des règles de l'art est caractérisé par le fait que l'eau prélevée est fortement chargée en fines, ce qui encrasse trop rapidement les filtres et échangeurs.

Commentaire ALEC : Les performances d'un forage géothermique peuvent être affectées par des phénomènes physiques, chimiques et bactériologiques. Les désordres généralement constatés dans les forages sont les colmatages et la corrosion. Les colmatages sont causés par des incrustations de matières et de corps étrangers qui se déposent et s'accumulent dans les forages. Le dimensionnement des filtres et échangeurs en amont de la PAC, en prenant en compte les caractéristiques de l'eau puisée est donc un point essentiel.

- **Mauvais dimensionnement de l'installation**

Dans les cas de mauvais dimensionnement du système, l'origine du désordre vient le plus souvent d'une mauvaise estimation du besoin énergétique de l'ouvrage. Outre la non atteinte du niveau de confort attendu, la conséquence est que les circuits de captage sont également sous-dimensionnés. Cela impose donc de réviser systématiquement ces capteurs souterrains, et de modifier les puissances de PAC associées. S'il s'agit de prélèvements sur aquifère, les analyses d'eau, de débits, de pérennité de la nappe, de l'impact thermique peuvent s'avérer incontournables. Évaluation des solutions d'appoint énergétique (chaudière), réévaluation des émetteurs (vecteur eau, vecteur air).

- **Mauvaise réalisation du forage**

Un autre cas intéressant récolté par l'AQC est celui dans lequel deux aquifères sont mis en communication. Des boues d'hydroxydes de fer de couleur ocre ont encrassé la pompe immergée. Le tubage n'a pas été réalisé de manière adéquate. La norme NF X10-999 n'a pas été respectée, le foreur aurait dû investiguer pour connaître le sous-sol et adapter les longueurs de tubage à ce cas particulier.

Il convient alors de remonter la pompe immergée afin de descendre une caméra à visée axiale pour observer le tubage PVC et l'état du gravier, nettoyer le puits, le désinfecter, le nettoyer une seconde fois, rechemiser les tubages PVC par des tubages en acier inoxydable, réaliser de nouveaux essais de pompage pour déterminer les nouvelles conditions d'exploitation, mettre un suivi en place pour étudier le niveau d'eau, effectuer des prélèvements réguliers.

Commentaire ALEC : Ainsi la qualité de la réalisation du forage est déterminante, ce pourquoi le porteur de projet est incité à missionner un installateur qualifié « Qualiforage », mention « nappes phréatiques » (condition pour l'éligibilité à l'aide financière du Fonds chaleur).

>> Retex communes

St Egreve : Pôle Enfance au parc de Fiancey 2017 : forage env. 5m³/h pour rafraîchissement sur plancher (géo-cooling) avec un échangeur intermédiaire.

Puit de réinjection (tube plein et crépine) colmaté par une boue (développement bactérien associé à des dépôts de type hydroxyde de fer et dépôts détritiques) dès 2018. L'analyse d'eau initiale ne montrait pourtant pas de risque de colmatage par développement bactérien, mais éventuellement par entartrage (eau « Dure » TH 33.3)

Le nettoyage, curage nécessite un cout de 10k€. Outre cette action, la mairie va prévoir des relances régulières du pompage afin de ne pas laisser stagner l'eau en période hivernale. Cet arrêt saisonnier favorise en effet le développement bactérien.

Aides Fonds Chaleur et accompagnement

L'ALEC assure l'animation du dispositif Fonds chaleur et peut accompagner les maitres d'ouvrage dans la réalisation de projets de géothermies.

Voici quelques informations et critères du dispositif :

- **Etude de faisabilité** : Une étude de faisabilité préalable d'aide à la décision peut être réalisée, et financée à hauteur de **70% du montant HT**. Elle doit être réalisée par un groupement associant un bureau d'étude thermique et hydrogéologue. L'un d'eux au moins doit être qualifié RGE.
- **Travaux** : l'aide Fonds chaleur est forfaitaire : **400€/MWh d'énergie géothermique mobilisée** annuellement en amont de la PAC. Un supplément de **100€/MWh Géocooling** est octroyée dans le cas où un échangeur est mis en place pour faire du Géocooling.

Critères d'éligibilité :

- **COP machine mini 4.5** (pour les conditions de T prévues par la norme européenne)
- COP moyen annuel au moins égal à 3
- Nombre d'heures équivalentes de fonctionnement de **1000h/an** à puissance nominale
- **Performance énergétique du bâtiment** : neuf RT 2012-20% ; Existant étiquette DPE **C** (logements et bâtiments soumis au décret tertiaire) ou **D** (autre tertiaire)
- Suivi et comptage de la production
- **Etudes par un bureau d'étude hydrogéologue et un bureau d'étude thermique**, l'un des deux au moins devant être qualifié RGE (s'adresser à l'ALEC pour avoir la liste à jour) ,
- **Foreur qualifié « Qualiforage sur nappe phréatique »**

>> **Retex communes :**

Commentaire ALEC : Attention, seules 2 ou 3 entreprises de forage qualifiées en Isère et départements limitrophes. Liste sur www.qualit-enr.org.

Annexe : ressources

- www.geothermies.fr :
 - boîte à outils pour mener un projet géothermie de A à Z
 - cartographies, lien vers déclaration GMI, exemples de projets
- [Rapport RAGE 2014](#) : « Pompes à chaleur géothermiques : les opérations de forage et limites de prestation »
- [Guide AQC 2018](#) : Installations Géothermiques Basse Température : Points de Vigilance
- [Document DDAF et BRGM Région Aquitaine](#) : « Les forages... ce qu'il faut faire et ne pas faire »
- Etude ADEME AURA 2020 : Retours des audits d'installations géothermiques régionales