

# Chapitre 3 Les énergies renouvelables pilotables

## 2<sup>ème</sup> partie : La géothermie

### Qu'est ce que la géothermie?

La géothermie est une source d'énergie renouvelable capable de fournir du froid, de la chaleur et de produire de l'électricité. Elle permet d'exploiter les calories contenues dans le sol et le sous-sol, à plus ou moins grande profondeur.

Elle est inégalement répandue en France, et peu connue. Pour cette raison, elle mérite un traitement particulier.

Il s'agit de récupérer la chaleur ou les thermies du sol ou du sous-sol afin de l'utiliser à des fins diverses, l'électricité, mais surtout le chauffage, ainsi que l'eau chaude sanitaire et même le rafraîchissement, en été. Le lecteur sait sans doute que la température du sous-sol s'élève en fonction de la profondeur : en moyenne : + 3,3°C tous les – 100 m en France. C'est ce qu'on appelle le gradient géothermique. Cette chaleur est utilisable et a déjà été bien utilisée. C'est la seule forme d'énergie renouvelable pouvant assurer une production régulière 24h/24 et qui soit disponible à tout moment sans restriction. Son coût de fonctionnement peut concurrencer celui du gaz naturel, permettant aux pays de s'affranchir de leur dépendance aux importations de combustibles et d'accroître leur sécurité énergétique.

D'importantes réserves géothermiques, à des températures de 12 °C à 150 °C sont disponibles en France. Elles sont tellement abondantes que l'exploitation des nappes par exemple, suffirait à couvrir la quasi-totalité des besoins calorifiques pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, soit d'économiser 40 millions de TEP par an.

En fait, il n'y a pas une géothermie, mais différents types de géothermies :

### 1-La géothermie profonde

On appelle géothermie profonde celle qui consiste à chercher la chaleur du sous-sol à des profondeurs variant de plus de 200m à plusieurs kms. Comme on peut la récupérer directement à haute température, voire très haute température, elle peut produire de l'électricité (2 centrales en France produisant 102 GWh par an), ou, directement, de la chaleur pour des gros réseaux de chaleur (pour plusieurs centaines, voire plusieurs milliers d'immeubles d'un quartier ou d'une ville. Il existe une soixantaine d'installations de ce type en France produisant 1650 GWh/an (voir ci-dessous), ainsi que d'autres à usage industriel ou agricole ou de loisirs (130 GWh/an).

#### La géothermie de grande profondeur

La technologie EGS (« Enhanced Geothermic System) mise au point à Soultz -les-Forêts, lieu d'expérimentation, d'études et de prospection, consiste à libérer les failles de leur dépôts minéraux à 1600 m environ de profondeur, pour relier, rétablir ou améliorer les différents réservoirs d'eau chaude du sous-sol. Ces failles, très propices à la géothermie profonde, sont situées le long du rift européen qui va d'Oslo à Barcelone en passant par l'Alsace et les Cévennes (zone fracturées, fossés d'effondrement). Le potentiel de la géothermie profonde est considérable, mais son exploitation demande des investissements importants qui sont difficiles à rentabiliser, d'autant plus que la

production d'électricité géothermique est la seule qui ne bénéficie pas de subventions depuis la dernière PPE (Programmation Pluri-annuelle de l'Énergie)

## Les réseaux de chaleur

Des gisements importants de géothermie profonde existent sous les bassins sédimentaires et permettent de produire de la chaleur en grande quantité. Ainsi, dans la région parisienne, des centaines de milliers de logements sont chauffés depuis les années 1970 par des réseaux de chaleur. Grâce aux nappes présentes dans le sous-sol de la région, l'Île-de-France est dotée d'un des plus importants gisements en chaleur d'origine géothermique. C'est la raison pour laquelle elle compte la plupart des forages exploités, mis en service dans les années 80 pour la grande majorité. Aujourd'hui, cette technique connaît un nouvel essor :

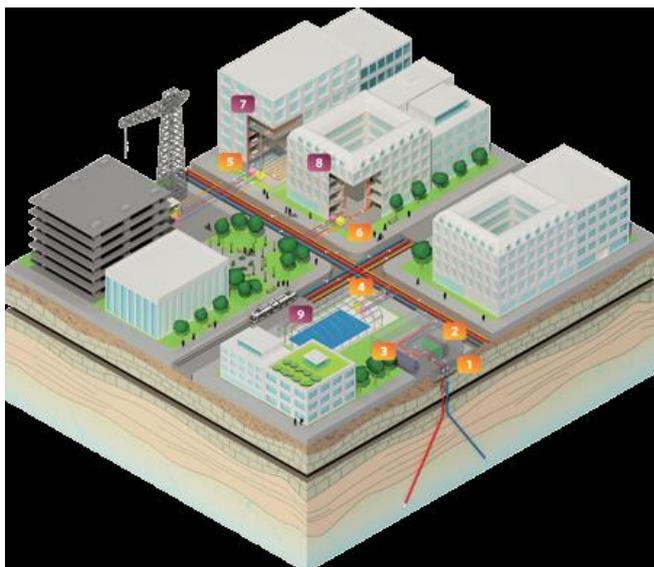
À l'orée des années 2000, la commune d'Orly a été l'une des premières à envisager la possibilité de réaliser un nouveau « doublet géothermique » (en géothermie « sur nappe », il faut deux forages, voire trois : un puits d'extraction est associé à un, ou deux, puits de réinjection.)



On réinjecte en effet la même eau que celle qu'on a prélevée, évitant à l'environnement d'être atteint par d'éventuelles propriétés physico-chimiques de l'eau souterraine). Cette installation exploite la nappe aquifère présente dans la couche géologique du Dogger, à 1800 mètres de profondeur.

L'eau, puisée à 75°C, est acheminée vers la centrale alimentant le réseau de chaleur de la Ville d'Orly. Environ 8000 équivalents-logements, répartis sur Orly et la commune voisine de Choisy-le-Roi, sont raccordés à ce réseau et sont fournis pour les besoins de chauffage et aussi d'ECS (eau chaude sanitaire) à hauteur de 80 % de bientôt 2 millions de personnes.

Un autre exemple en France (Occitanie) est celui de Blagnac près de Toulouse : l'eau chaude est puisée dans le sous-sol à 1500 m environ. Cette chaleur est utilisée pour chauffer les immeubles, les piscines et bâtiments (37 postes de livraison). L'eau, puisée à une température moyenne de 59°C, est réchauffée jusqu'à 70°C à travers un système de pompes à chaleur haute température avant d'y être distribuée à travers le réseau de chaleur.



Croquis de ce type d'installations de réseaux de chaleur

1 – Pompe, puits de production (rouge), puits d'injection (bleu), tête de puits- 2 – Centrale géothermique-  
 3 – Chauffage d'appoint- 4 – Réseau enterré- 5 – Echangeur pour le chauffage  
 6 – Echangeur pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS)  
 7 – Bâtiment chauffé pour radiateurs haute température- 8 – Bâtiment chauffé par plancher chauffant  
 basse température- 9 – Piscine chauffée en basse température

Il faut savoir qu'on pourra sans doute en même temps utiliser ce type d'installation pour capturer le CO<sub>2</sub> (procédé en cours de recherche par le BRGM)

**2-La géothermie de proximité** (de surface, ou basse et très basse température, disait-on auparavant)

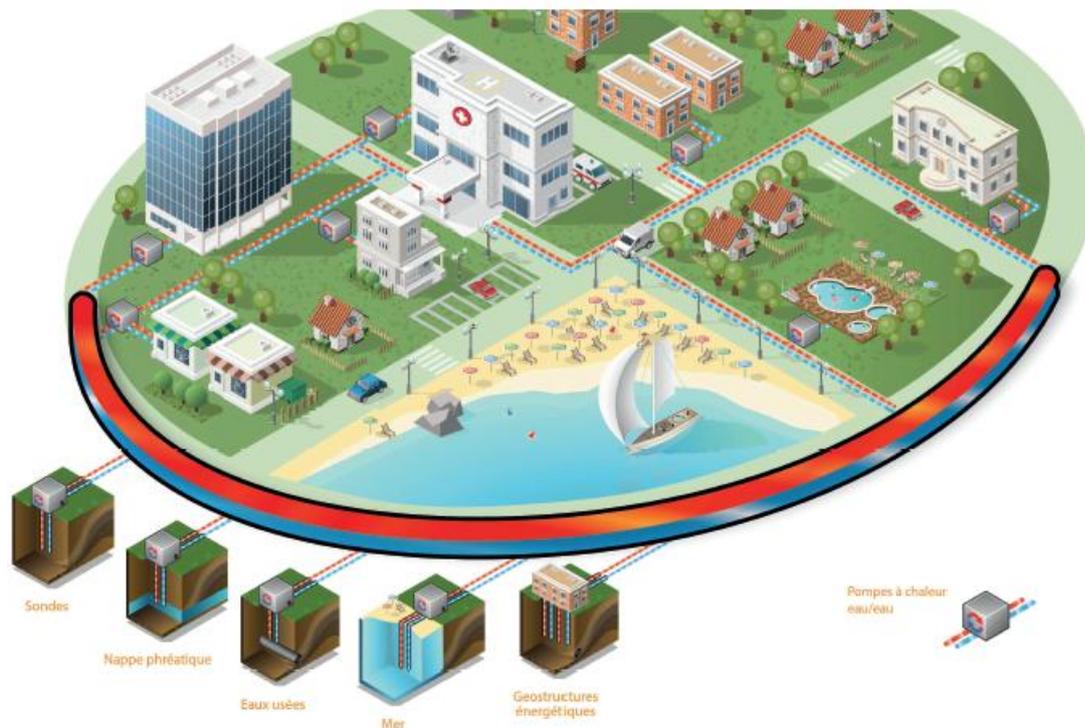
La géothermie dite de proximité ou "de minime importance" (GMI), puise à des profondeurs allant de 60 cm à 200 mètres maximum. Elle permet de produire de la chaleur et du froid renouvelables, le plus souvent assistée d'un dispositif intermédiaire appelé « pompe à chaleur » (PAC). La PAC utilise la technologie de la thermo-dynamique : elle prend une « source froide », y prélève des calories qu'elle transporte avec un fluide caloporteur, l'élève à 35-50°C sur un bâtiment (voir aussi un peu plus loin). Dans certains cas, on peut s'en passer si on découvre directement de l'eau à 50°C (ce qui s'appelle une anomalie géothermique) comme dans le Lodévois par exemple, mais aussi dans l'est de l'Occitanie, où il se trouve de nombreuses sources chaudes (dans des stations thermales).

Cette géothermie, assistée ou non par pompe à chaleur, extrait les thermies (ou calories) du sol et du sous-sol, en utilisant des sondes verticales, soit « sèches », soit sur nappes, parfois en puisant l'eau souterraine, plus souvent en prélevant ses thermies par un cycle fermé.

Elle fournit le **chauffage et l'eau chaude sanitaire (ECS)** et peut être complétée favorablement par le **rafraîchissement** (*géo-cooling* ou *free-cooling*), qui consiste à faire fonctionner en été le système géothermique en inversant la PAC, ou bien, de produire passivement de la fraîcheur, ce qui la rend encore plus rentable<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Par un jeu de vannes hydrauliques, on inverse le système.

Elle peut être utilisée par des collectivités locales pour les bâtiments municipaux, tertiaire-bureaux, écoles, hôpitaux, mairies, des écoquartiers, à partir de réseaux de chaleur ou à partir de **boucles d'eau tempérée** (température plus basse) comme le montre la figure ci-dessous, ou encore par des particuliers pour leur maison individuelle.



La boucle d'eau tempérée à énergie géothermique (source APFG)

Mais cela va bien au-delà : les applications sont multiples : le chauffage de serres, de piscines, de naissains d'huîtres, de piscicultures, d'aquaponie (élevage d'esturgeons en un temps réduit)... s'ajoutent au chauffage, au rafraîchissement et à l'eau chaude de nombreux bâtiments publics et administratifs : musées, mairies, palais des congrès, salles de spectacles, lycées...). Cela peut être développé avec des quartiers (éco-quartiers) qui peuvent comprendre jusqu'à 1000 logements.

Mais aussi les sources d'énergie primaire sont diversifiées : on peut utiliser des eaux usées (ex à Marseille pour chauffer deux piscines à 28°C), l'eau des étangs, des lacs, et de la mer. Pour cette dernière, on utilise le terme de thalassothermie. Celle-ci est en train de connaître un essor important le long du littoral méditerranéen : il existe déjà des installations à Marseille, à la Seyne sur Mer, au port de Marseille, à Sète, et des projets ont démarré au Cap d'Agde, à la Grande Motte et maintes autres localités du bord de mer qui ont décidé de profiter de la température favorable de l'eau de la Méditerranée qui oscille entre 12° et 25 °C.

Ce type de géothermie est le plus vertueux et en même temps le moins connu dans les milieux politiques, parce que la filière est restée en retrait et moins visible, sans incitations suffisantes (la géothermie productrice de chaleur renouvelable reçoit 10 fois moins de subventions que l'électricité renouvelable intermittente : éolien et photovoltaïque) et parce qu'elle n'a pas fait connaître les potentialités des PAC du 21<sup>è</sup> siècle.

Du coup, il y a deux fois moins de foreurs en France qu'en Suisse!

Elle a la réputation d'avoir un coût d'investissement élevé si on la compare à un investissement dans une chaudière à gaz par exemple. Cependant elle est rentable pour les particuliers qui disposent de

surcroît d'aides de l'Etat, et pour le secteur collectif et tertiaire qui bénéficie, entre autres, du fonds chaleur de l'ADEME (temps de retour sur investissement : entre 7 et 12 ans).

C'est le moment de mettre le braquet sur cette énergie pour remplacer aussi le chauffage électrique des bâtiments (conséquence d'une politique du tout électrique des années 60), à l'heure où on envisage de supprimer des réacteurs nucléaires.

Il faut éviter de la confondre avec l'aérothermie (PAC air-air ou « climatiseur réversible » (dont la COP<sub>2</sub> est de 2,5 en moyenne)) dont l'efficacité est bien moindre : les PAC « sol-eau » ou « eau-eau », indépendantes des températures extérieures, ont une COP qui va de 4 à 7). De plus, contrairement à la géothermie, l'aérothermie, ne peut pas se passer, comme les réfrigérateurs, de fluide frigorigène qui peut être polluant en cas de fuites.

### Quelles sont les possibilités pour les particuliers ?

On peut chauffer à la géothermie, soit à partir de capteurs horizontaux enterrés à 60-80 cm de profondeur dans un jardin (c'est de la géothermie solaire) qui nécessitent un terrassement assez limité, ou à partir de corbeilles de 2 m de hauteur, ou de sondes verticales à environ 100-150 m nécessitant un ou plusieurs forages, s'il n'y a pas de contraintes d'accès pour le matériel de forage.

Dans les sondes verticales passe de l'eau glycolée : on dit que le système est « tout eau » et que la PAC est « eau-eau ». Dans la PAC circule un fluide fermé qu'on a amélioré au fil des temps.

Pour ces projets, l'aide d'un bureau d'études thermique pourra être nécessaire, pour étudier entre autres le dimensionnement de l'installation.

Un système géothermique pour un particulier coûte 15 000 €, dont sera déduite une aide d'état : la prime RENOVA, qui couvre une grande partie de l'investissement, si vous avez une vieille chaudière (dans la limite de certains revenus). A l'usage ensuite, le fonctionnement coûte moins de 200 € d'électricité par an (eau chaude sanitaire non comprise) au lieu de 1600-2000 € de fuel, pour une maison de 120m<sup>2</sup> par exemple. Bref l'utilisateur divise par 2,5 à 4 sa facture de chauffage, s'il avait auparavant une chaudière à fuel ou gaz.

Ces techniques sont majoritairement employées pour chauffer, par planchers chauffants, radiateurs basse consommation ou ventilo-convecteurs, et pour produire l'eau chaude sanitaire des bâtiments.

### Les pompes à chaleur (PAC)

Les pompes à chaleur servent les solutions géothermiques dans beaucoup de cas, lorsque la température de la « source » n'est pas tout à fait suffisante, par exemple dans le cas des pompes « air-eau », lorsque les logements ne disposent d'un terrain attenant suffisant pour déployer des sondes pour capter la chaleur. Elles constituent un atout majeur dans un contexte de déploiement des solutions électriques et d'abandon prévisible des énergies fossiles.

Une pompe à chaleur, c'est un peu comme un réfrigérateur, la PAC étant « un frigidaire à l'envers ».

---

<sup>2</sup> COP = Coefficient de performance de la PAC : Il représente l'efficacité énergétique : calcul du nombre de KWh de chaleur produits pour 1 KWh d'électricité consommée. Le rendement de la PAC air-air fluctue en fonction de la température de l'air extérieure et de la saison. Ce rendement baisse en dessous de 7°C. Le SCOP est une autre mesure qui tient compte du climat et de la performance de la PAC air-air. ex: A Montpellier : SCOP entre 1,9 à 5 en f° de la PAC.

Elle comprend principalement un compresseur (comme un réfrigérateur), et peut consommer jusqu'à 6 fois moins d'électricité qu'un chauffage électrique classique.

On a noté dans les développements précédents que lorsque la source de chaleur n'est pas à une température suffisante pour chauffer un bâtiment, on utilise, pour obtenir le résultat escompté, des pompes à chaleur, de puissances diverses selon l'objectif recherché (chauffage de logements collectifs ou individuels...), et selon la température de la source.

Il en existe de plusieurs sortes, que l'on utilise des sondes géothermiques, pour alimenter un chauffage central, ou tout autre dispositif comme des capteurs horizontaux.

La part des pompes à chaleur dans les ventes d'équipements de chauffage devrait tripler d'ici à 2030. C'est une bonne chose, mais c'est insuffisant. Ce déploiement devrait également s'accompagner de gains de performance énergétique afin de générer des économies d'énergie plus importantes.

En revanche, l'achat et l'utilisation accrue des climatiseurs par les ménages et les bâtiments tertiaires n'est pas une bonne chose, car elle devrait d'ici à 2050 faire bondir la consommation d'électricité mondiale à un niveau sans précédent : ainsi, 6 200 TWh pourraient être consommés en 2050 pour climatiser les bâtiments, soit trois fois plus qu'aujourd'hui (AIE, 2018). La géothermie avec PAC est préférable, car elle peut permettre de rafraîchir des locaux sans dépense de fonctionnement supplémentaire.

### **La chaleur produite (ou récupérée) peut être stockée, en sous-sol**

L'eau chaude pourrait être utilement stockée en sous-sol (ou alimenter un stockage de chaleur), non seulement pour le chauffage et l'eau chaude, mais aussi pour d'autres usages. Deux expériences intéressantes ouvrent la voie à cette possibilité. C'est d'abord l'expérience de stockage de chaleur intersaisonnier de La Communauté solaire de Drake Landing, un écoquartier de 52 habitations individuelles situé dans l'Alberta au Canada. Le quartier est conçu de manière que 90 % des besoins de chauffage annuel des habitations soient couverts grâce à la chaleur produite par des panneaux solaires thermiques. Afin d'atteindre ce rendement, 800 collecteurs solaires ont été installés sur les toits des 52 garages, et un système de stockage de chaleur saisonnier souterrain a été mis en place. En hiver, la chaleur est déstockée du système de stockage pour être ensuite distribuée via le réseau de chaleur. En 2012, 97 % des besoins de chauffage de la communauté ont été couverts par l'énergie solaire, ce qui constitue un record mondial pour une installation de cette taille.

Cette solution est en train de se mettre en place en France avec la société NewHeat qui vient d'inaugurer Narbosol, une centrale solaire thermique qui contribue à la fourniture de chaleur renouvelable au réseau de chauffage urbain de Narbonne.

### **Mieux encore et venant aussi du Canada, selon le même principe : les BTES, des sondes géothermiques pour stocker la chaleur renouvelable**

Un « Borehole Thermal Energy Storage » (borehole : forage), invention canadienne, est un champ de sondes (sèches) géothermiques rapprochées (de 2 à 4 m) utilisé à des fins de stockage de chaleur dans le sol. Les sondes (jusqu'à une profondeur de 200m) sont des circuits fermés de faible diamètre dans lesquels circule un fluide caloporteur permettant des échanges thermiques. On peut les contrôler, mieux moduler la température avec le stockage (savoir ce qu'on entre et ce qu'on sort), avec ces sondes. En plein été, lorsque les climatiseurs tournent à plein régime, les sondes géothermiques récupèrent la chaleur fatale, habituellement perdue, des processus de climatisation du bâtiment... et restituent la chaleur en période hivernale.

## Bilan de cette énergie renouvelable

**La géothermie profonde** a beaucoup d'atouts par rapport aux autres énergies renouvelables : **occupation du sol pratiquement inexistante (un local technique), pas de bruit**, ni de trafic routier induit, **quasiment aucun impact sur le plan visuel, ni sur la biodiversité**. C'est une source d'énergie discrète et, on l'a vu, **quasi inépuisable si le système est correctement dimensionné**. **Le bilan financier est bien meilleur qu'avec l'utilisation d'une source fossile**. Le forage (100 € le mètre linéaire en moyenne) représente la moitié du coût d'un système géothermique dans le collectif et le tertiaire. Pour un réseau de chaleur, c'est le réseau lui-même de distribution de la chaleur dans l'agglomération qui est le plus coûteux, mais une fois les structures installées, c'est très économique pour l'usager. C'est ce qu'ont compris beaucoup de municipalités de l'Île de France, qui ont pu faire baisser les factures des abonnés (jusqu'à 30 %).

Le deuxième atout, et non des moindres, c'est que **ça fonctionne 24 heures sur 24**, contrairement à l'énergie solaire et surtout à l'éolien dont le défaut majeur est l'intermittence. C'est une énergie pilotable et pérenne, de surcroît sans impact sur l'environnement, et donc bien acceptée.

Il n'est que juste d'énumérer les avantages de cette source d'énergie : décarbonée, elle émet très peu de GES (gaz à effet de serre), aucune particule fine. Elle ne pollue pas et son exploitation a un très faible impact sur les paysages comme sur le voisinage, pas de bruit, pas de fumée...

**La géothermie de proximité** est **réalisable** presque partout, sur sondes sèches verticales : sur 92% du territoire occitan par exemple, et sur nappe, sur 25% de ce territoire, donc c'est une source d'énergie locale, par ailleurs continue, et, avantage non négligeable, indépendante des conditions climatiques.

Aux niveaux technique et économique, les avantages sont aussi très nombreux :

La puissance est élevée et constante.

Dans les petites installations, elle diminue considérablement la facture des utilisateurs (voir plus haut). Pour 1 KW d'électricité consommée par une pompe à chaleur (PAC) eau-eau, on récupère 4 à 6 KW thermiques.

### **On ne saurait tarir d'éloges sur cette énergie renouvelable.**

Elle est indépendante des variations de coût des énergies fossiles et de l'énergie en général. L'approvisionnement est indépendant de la géopolitique, libère le pays de sa dépendance énergétique. De plus, les forages réalisés le sont pour plusieurs générations. Enfin, il n'y a aucune incertitude sur l'approvisionnement et sur son coût. Son prix est stable : contrairement à celui du gaz et du pétrole, on peut maîtriser le coût de la géothermie sur trente ans.

C'est aussi pourquoi nous comprenons mal le peu de subventions accordées encore à cette EnR déjà opérationnelle et mature, et qui n'offre que des avantages. Pourquoi hésiterait-on à en généraliser l'utilisation, entre autres dans les bâtiments collectifs et tertiaires qui sont encore chauffés au fuel et gaz et refroidis à la clim air-air, puisque en termes de stock, les réserves profondes en calories des deux premiers kilomètres de la croûte terrestre sont plusieurs milliers de fois supérieures à celles des combustibles fossiles ?

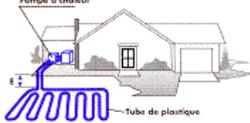
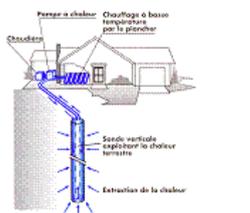
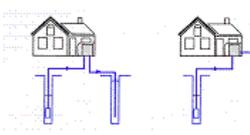
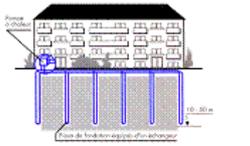
## Note particulière sur la géothermie profonde productrice d'électricité :

Des secousses sismiques dues à une pression trop forte dans un puits d'injection de 5 kilomètres de profondeur se sont produites près de Strasbourg, à une échelle perceptible par les habitants de cette métropole. Cela s'était produit aussi près de Bâle il y a une quarantaine d'années. A ce sujet, il est bon de savoir que dans le cadre de l'expérimentation de Soultz-les-Forêts (recherche en géothermie profonde), on évite ce qui a été fait récemment près de Strasbourg, à savoir d'utiliser des acides forts et une pression trop forte. On y invite à utiliser de la saumure ou de l'acide glutamique biodégradable et organique et à réduire la pression d'injection à moins de 20 bars, ce qui évite tout séisme.

**Il faut donc encourager cette filière vertueuse**, lui accorder une priorité. L'obstacle, ce sont les lobbies très puissants des énergies renouvelables électriques intermittentes qui entendent bien préserver le système mis en place des subventions exorbitantes et de tarifs de rachat de l'électricité incitatifs qui leur permettent d'engranger d'énormes profits. Or un Etat ne peut pas subventionner tout à la fois, il doit choisir ses priorités. Actuellement, c'est un fait, les états n'ont pas choisi les meilleures et les plus utiles à la société.

## Annexe : RAPPEL SUR LES DIFFERENTS DISPOSITIFS D'EXPLOITATION (Hors géothermie profonde)

NB- Profondeur maximale de la géothermie « de minime importance » : 200 m

	Profondeur moyenne	Application
 <p><b>Capteurs horizontaux</b></p>	0,5 à 1,5 m	<b>Individuel uniquement</b>
 <p><b>Sonde géothermale</b> appelé aussi <b>Capteur vertical</b></p>	50 à 100 m  Peut atteindre plusieurs centaines de mètres  Champ de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de sondes	<b>En individuel</b>  <b>En collectif</b>
 <p><b>PAC sur Aquifères</b> Avec ou sans forage de réinjection</p>	10 à 100 m  De quelques dizaines de mètres à plusieurs centaines de mètres	<b>En individuel</b>  <b>En collectif</b>
 <p><b>Géostrucures</b> Pieux de fondation équipés d'échangeurs thermiques</p>	5 à 20 m	<b>En collectif ou tertiaire</b>

## GEOTHERMIE INDIVIDUELLE, POUR PARTICULIERS

Quelques explications et schémas:

Les techniques de géothermie ont beaucoup évolué en offres de matériel, en performance et surtout ont appris des erreurs du passé. Ainsi, des logiciels à destination des professionnels ont été développés par les spécialistes de la géothermie française pour fournir avec le plus de justesse possible le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS) et le rafraîchissement (géo-cooling ou freecooling) des maisons individuelles, sans sur-dimensionnement des systèmes.

Deux tranchées de 30 à 40 m de long pour une maison individuelle de 120m<sup>2</sup> suffisent à fournir suffisamment de chauffage dans le Sud de la France. Profiter des fondations lors de la construction d'un bâtiment pour y placer des capteurs géothermiques est la solution la plus économique.

### 1- LES CAPTEURS HORIZONTAUX

### 2- LES CORBEILLES :

Les corbeilles offrent aussi une alternative aux capteurs horizontaux qui occupent plus de place ou aux sondes qui nécessitent de créer des forages.

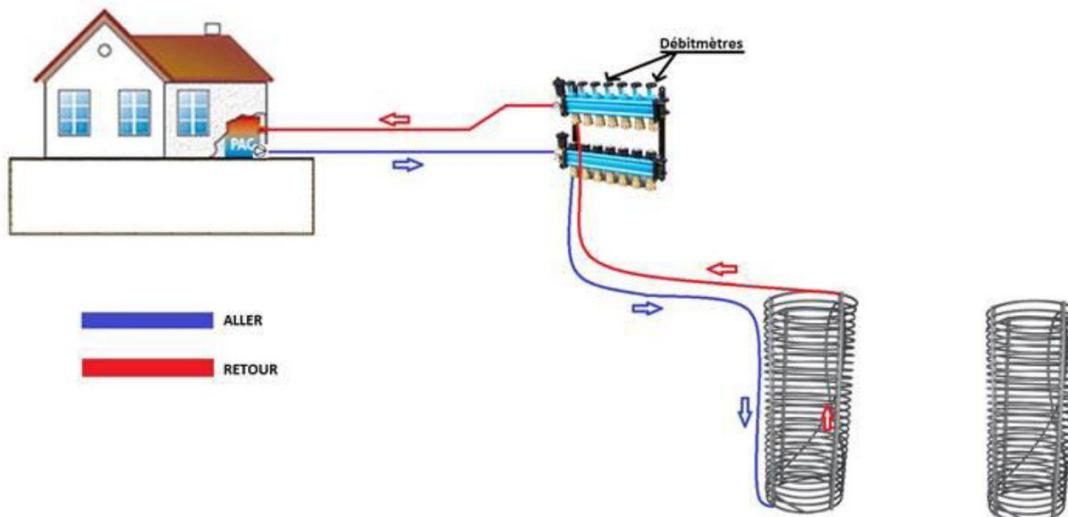
Constituées par des enroulements de tuyauteries de polyéthylène en spirales, elles peuvent être descendues dans des excavations de quelques mètres de profondeur. Le fluide caloporteur (eau glycolée) circule dans les spirales de l'extérieur de la corbeille afin de capter le maximum de chaleur puis remonte par l'intérieur afin de ne pas se refroidir.

Les corbeilles sont implantées à une profondeur de 3,5 m, permettant de s'affranchir ainsi des variations saisonnières de la température.

L'espacement minimum entre chaque corbeille est de l'ordre de 3-4 m.

Elles peuvent être coniques ou cylindriques:

**Schéma général pour corbeilles géothermiques avec PAC (puissance en sortie : 7-8 KW) pour une maison individuelle - plancher chauffant 35°C**



Autres informations dans :

**[AFPG.asso.fr](http://AFPG.asso.fr)**

[www.geothermie-perspectives.fr](http://www.geothermie-perspectives.fr)

[geothermies.fr](http://geothermies.fr)

<https://www.plancher-chauffant-caleosol.fr/geothermie/corbeille-geothermique-puissance>