

Petit guide des pompes à chaleur géothermales

Petit guide des pompes à chaleur géothermales

Stéphanie Laporte

MARS 2004

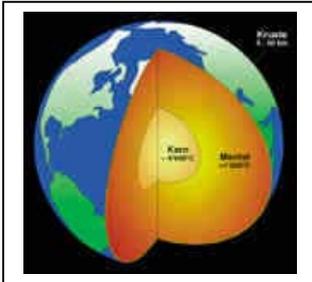
SOMMAIRE

1. Introduction	4
2. Qu'est-ce que la géothermie ?	4
3. La géothermie Basse température, utilisation des nappes d'eau chaude du sous-sol profond	6
4. La pompe à chaleur (PAC)	6
5. Les technologies des PAC géothermales	7
5.1 Le captage	7
5.1.1 Les capteurs horizontaux	7
5.1.2 Les capteurs verticaux	8
5.1.3 Les pieux énergétiques	9
5.1.4 Les PAC sur eau de nappe	9
5.2 Les technologies	9
6. D'autres types de PAC	11
6.1 La PAC sur air	11
6.2 La PAC à absorption	12
6.3 La PAC à absorption-diffusion	12
7. Les rendements	13
8. Les applications des PAC géothermiques	13
9. Les coûts	14
10. Les aides	14
10.1 ADEME	14
10.2 Le crédit d'impôt	14
10.3 EDF	15
10.4 ANAH	15
11. Situation de la filière	15
11.1 Baromètre de la géothermie	15
11.1.1 La filière production d'électricité	16
11.1.2 La filière production de chaleur	16
11.2 Un marché en pleine expansion	18
11.3 Bilan des actions initiées par l'ADEME	18
11.3.1 Bilan des actions sur la géothermie de surface	18
12. La réglementation	20
13. Références	21

1. INTRODUCTION

Ce petit guide présente la géothermie et plus particulièrement la géothermie basse température et les pompes à chaleur.

2. QU'EST-CE QUE LA GEOTHERMIE ?



L'énergie géothermique est l'énergie calorifique stockée sous la surface terrestre. Les profondeurs de la terre recèlent d'énormes quantités de chaleur naturelle, dont l'origine réside essentiellement dans la désintégration d'éléments radioactifs. Selon les connaissances actuelles, les températures culminent à 6000°C dans le noyau et atteignent jusqu'à 1300°C environ dans le manteau supérieur du globe terrestre. Le flux géothermique qui parvient à la surface du globe dépasse 40 milliards de kW.

Plus de 99 % de la masse de notre Terre est soumise à des températures dépassant 1000 °C. Seul 0,1% est plus froid que 100 °C.

En moyenne, la température augmente à partir de la surface terrestre de 3 °C environ par 100 mètres de profondeur, ce qui correspond à un gradient géothermique normal. En de nombreux endroits du globe, nous constatons toutefois des anomalies géothermiques (dites «positives»), c'est-à-dire des régions présentant des gradients de température nettement plus élevés, par exemple en Islande, en Italie, en Indonésie ou en Nouvelle-Zélande.

Le but d'une exploitation de l'énergie géothermique est de capter la chaleur des profondeurs, pour l'amener à la surface de la terre en recourant à des technologies ad hoc. A certains endroits, la nature fournit elle-même le système de circulation requis, par exemple les sources thermales. En d'autres lieux, on doit faire appel à des forages avec pompes de production ou à des sondes géothermiques doublées de pompes de circulation.

La géothermie fait partie des énergies dites « renouvelables ». Son principe consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie. Les sites géothermiques à haute et moyenne température permettent la production d'électricité. Tandis que la production de chaleur est obtenue à partir des sites géothermiques de basse (utilisation des nappes d'eau chaude du sous-sol profond) et très basse température (utilisation de pompe à chaleur).

La géothermie est certainement la filière qui présente le plus large spectre d'activités : production de chaleur, production d'électricité, production de chaleur sur réseau, production de chaleur individuelle.

En Europe, la géothermie est la troisième source d'énergie renouvelable derrière l'hydraulique et la biomasse. Elle est davantage utilisée pour produire de la chaleur que de l'électricité.

La géothermie haute énergie

La géothermie haute énergie utilise des eaux et des vapeurs à plus de 180 °C, qui entraînent des turbines, qui entraînent à leur tour des générateurs d'électricité.

La géothermie moyenne énergie

La géothermie moyenne énergie utilise des fluides à des températures comprises entre 100 et 180 °C, qui cèdent leur chaleur à un fluide secondaire plus volatil. Ce fluide entraîne alors une turbine qui entraîne un générateur d'électricité.

La géothermie basse énergie

La géothermie basse énergie utilise des fluides à des températures comprises entre 30 °C et 100 °C. Le rendement est très trop faible pour pouvoir produire de l'électricité, mais elle permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les process industriels, thermalisme...

La géothermie très basse énergie et les pompes à chaleur

La géothermie très basse température est exploitée pour le chauffage et le rafraîchissement des maisons ou des bâtiments collectifs, et aussi pour la production de l'eau chaude sanitaire. La production de chaleur s'effectue à l'aide d'une pompe à chaleur qui prélève dans le sol l'énergie thermique.

Avantages et inconvénients de la géothermie

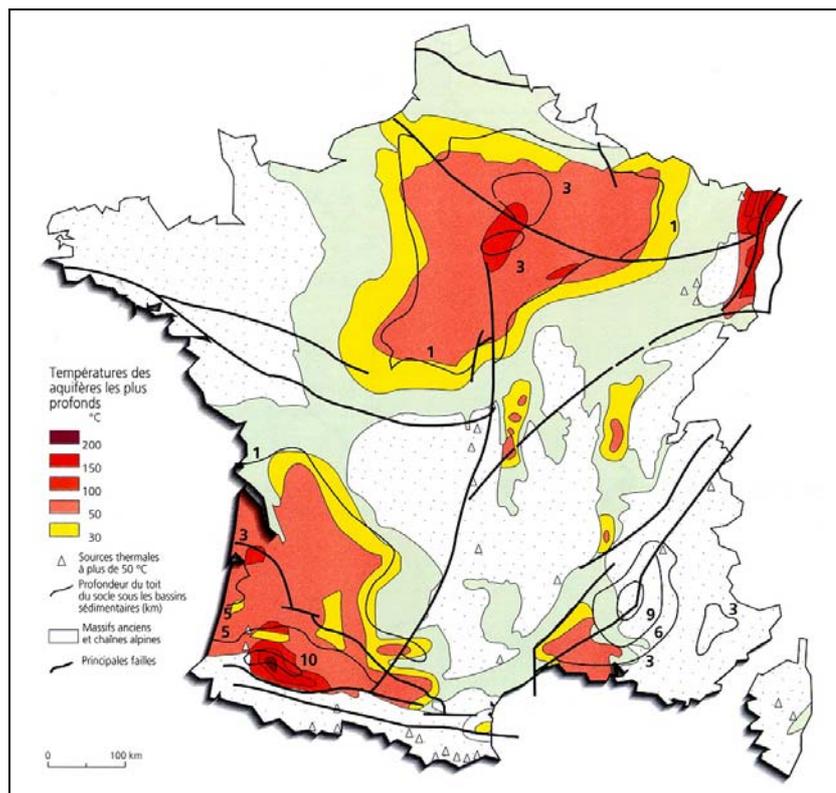
Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent), ni même de la disponibilité d'un substrat, comme c'est le cas de la biomasse. C'est donc une énergie fiable et stable dans le temps. Bien que l'énergie prélevée soit gratuite, le coût des systèmes géothermiques reste relativement élevé (du fait du système de captage généralement) ?

Le gisement géothermique français

En France, le flux thermique associé au gradient géothermal varie de 40 à 140 mW/m². Il est en moyenne de 100 mW/m², ce qui est supérieur à la moyenne européenne, égale à 62 mW/m². Dans le Bassin parisien, le flux est de 90 mW/m².

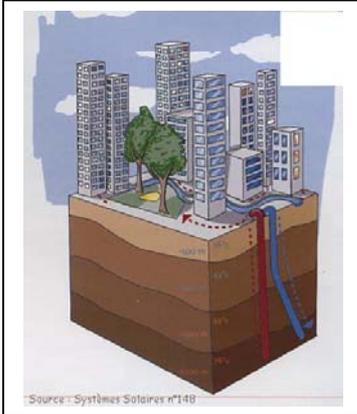
Les ressources géothermales françaises sont essentiellement de type basse température sur le territoire métropolitain. Par contre, dans les départements d'outre-mer, il existe des ressources haute température permettant la production.

La géothermie très basse température est quant à elle accessible partout, ou presque, quel que soit le site géographique.



Le gisement géothermique français [2]

3. LA GEOTHERMIE BASSE TEMPERATURE, UTILISATION DES NAPPES D'EAU CHAUDE DU SOUS-SOL PROFOND



La géothermie basse température permet d'exploiter **directement les nappes aquifères** dont la température est comprise entre **30 et 100°C**. Par le biais de forage profond (entre 1 et 2 km), l'eau chaude remonte à la surface et passe ensuite dans un échangeur qui transfère les calories au réseau de chauffage. Ce mode de production de chaleur par la géothermie est essentiellement utilisé pour : le chauffage urbain, le chauffage de serres, l'utilisation de chaleur dans les process industriels, le thermalisme,...

Il est nécessaire de disposer de terrains perméables pour exploiter l'énergie géothermique. La France a le privilège de posséder de larges bassins sédimentaires avec des couches géologiques perméables profondes, permettant d'extraire de l'eau chaude. Il

existe deux grands bassins sédimentaires en France, qui sont : le Bassin parisien et le Bassin aquitain.

Le **Bassin parisien** comprend 5 grandes formations aquifères à des températures comprises entre 30 et 85°C : l'Albien, le Néocomien, le Lusitanien, le Dogger et le Trias. Le plus exploité est celui du Dogger situé entre 1500 et 2000 mètres. Sa température peut atteindre 85°C et les débits de production sont généralement supérieurs à 150 m³/h. Cette nappe présente l'inconvénient d'être chargée en sels et gaz dissous, ce qui a été résolu par la réinjection des eaux à l'aide d'un deuxième puits qui forme, avec le puits de production, un doublet géothermique.

Le **Bassin aquitain** possède une structure géologique plus complexe que le bassin Parisien. Les aquifères y sont plus nombreux mais moins étendus. Les eaux y sont généralement douces et ne nécessitent pas une réinjection systématique.

En dehors de ces deux bassins, on peut citer également la plaine d'Alsace, la Limagne, la Bresse, le Couloir rhodanien, le Roussillon, le Hénault.

4. LA POMPE A CHALEUR (PAC)

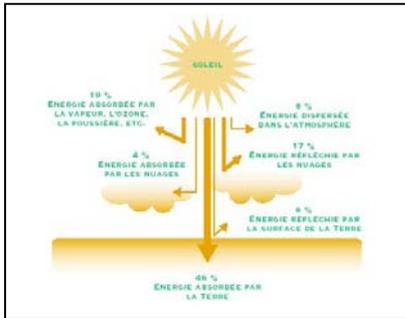
Une PAC est une machine thermodynamique qui puise la chaleur dans un milieu naturel appelé "source froide" (eau, air, sol) dont la température est inférieure à celle du local à chauffer. Elle transfère ensuite cette énergie au fluide de chauffage (en général l'eau chaude mais aussi quelquefois l'air) afin d'assurer le chauffage du local et aussi éventuellement la préparation d'eau chaude sanitaire.

Pour les applications géothermiques on utilise généralement des PAC à compression, qui comportent un compresseur électrique. Il existe d'autres types de PAC (voir § 6).

Aujourd'hui, il existe des pompes à chaleur dites *réversibles* qui permettent, outre le chauffage en hiver, de rafraîchir les pièces en été.

Pour un coefficient de performance de 3, une pompe à chaleur consomme 1 kWh électrique et fournit 3 kWh thermiques au logement.

On distingue différents types de PAC en fonction du choix de la source froide : *eau, air, sol*. Ce guide présente plus particulièrement les PAC dites **géothermales** ou encore **géothermiques**. Ce type de PAC puise sa chaleur du sol. Il en existe 4 sortes qui sont : les pompes à chaleur à *capteurs enterrés horizontaux*, les pompes à chaleur à *capteurs enterrés verticaux* (ou sondes géothermiques), les *pieux ou fondations géothermiques* et les *pompes sur eau de nappe*.



Le terme *géothermie* peut être abusif ici puisqu'aux profondeurs considérées, les principaux fournisseurs de chaleur sont le **soleil** et les **précipitations**. Le flux géothermiques y est négligeable. Aussi, on parle parfois de pompe à chaleur *géosolaire*. Cependant le terme PAC *géothermique* ou *géothermale* est aujourd'hui largement employé au plan international pour caractériser ce type de PAC.

Les composants de la PAC

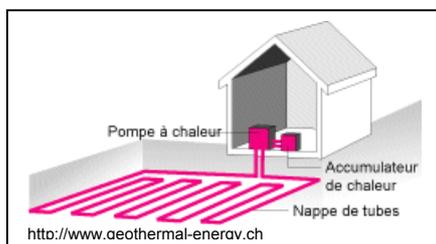
1. Le **captage de la chaleur** qui extrait la chaleur de la source (eau, air, sol) ou évacue celle du bâtiment (tout dépend de la fonction du système).
2. La **pompe à chaleur**, qui transfère la chaleur de l'environnement à la boucle de distribution.
3. Le **circuit de distribution** qui achemine la chaleur dans le bâtiment.

5. LES TECHNOLOGIES DES PAC GEOTHERMALES

5.1 LE CAPTAGE

Les capteurs peuvent être installés **horizontalement** ou **verticalement**. Dans ce dernier cas, on parle aussi de *sondes géothermiques*.

5.1.1 LES CAPTEURS HORIZONTAUX

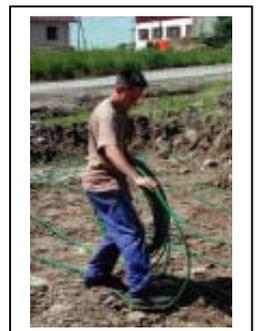


Il s'agit de tuyaux (en polyéthylène généralement) enterrés horizontalement à faible profondeur (de 0,6 m à 1,2 m) dans lesquels circule un fluide caloporteur. Les capteurs sont installés sur le terrain jouxtant le bâtiment.

Selon les fabricants la surface de captage préconisée varie entre 1,5 et 3 fois la surface chauffée de l'habitation.

Certains principes de pose sont préconisés, notamment en ce qui concerne les profondeurs d'enfouissement et d'espacement entre tubes. Le capteur doit être à au moins à :

- 2 m des arbres,
- 1,5 m des réseaux enterrés non hydrauliques,
- 3 m des fondations, des puits, des fosses septiques et des évacuations.



A la profondeur à laquelle les capteurs sont installés, l'incidence du flux

géothermal est inexistant. Les apports de chaleur sont effectués par l'énergie solaire et les infiltrations de pluie. C'est pourquoi le terrain doit être adapté :

- il doit être bien exposé au soleil,
- il ne peut être recouvert d'un revêtement en dur (terrasse, piscine, ...),
- si il est rocheux et peu favorable aux échanges thermiques, il faudra un lit de sable,
- si il est trop pentu, il faudra envisager un remblaiement.

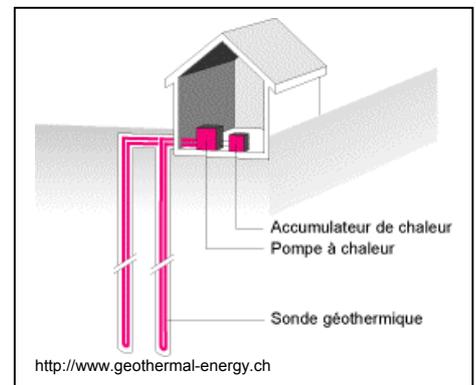
Les capteurs horizontaux sont faciles d'installation et ont des coûts initiaux plus bas que les capteurs verticaux. Toutefois, ils affichent des rendements inférieurs à cause des températures souterraines plus basses. Ils nécessitent par ailleurs une grande surface de terrain.

5.1.2 LES CAPTEURS VERTICAUX

Il s'agit d'une sonde verticale qui va puiser l'énergie contenue dans le sous-sol de la Terre. Un forage est effectué dans lequel est placé un capteur (tube en U, ou double U en polyéthylène) contenant un fluide caloporteur. Il est ensuite scellé par du ciment et de la bentonite. La profondeur du forage peut atteindre jusqu'à 200 m.



A 10 m de profondeur, la température du sol est pratiquement constante toute l'année et est voisine de 13°C. En descendant en profondeur, la température s'élève de 2 à 3°C tous les 100 m.



La puissance linéaire des capteurs verticaux est d'environ 50 W/m ; mais cela dépend de la conductivité thermique du terrain.

La quantité d'énergie utilisable d'une sonde géothermique profonde dépend de plusieurs paramètres :

- de la température atteinte dans le sous-sol, celle-ci est proportionnelle à la longueur de la sonde,
- des caractéristiques thermiques du sous-sol, notamment sa conductivité thermique,
- du type de construction de la sonde et de la colonne de production.

Les capteurs verticaux ont des coûts beaucoup plus élevés que les capteurs horizontaux, surplus essentiellement lié au forage. Cependant, ils ont besoin d'une surface de terrain plus faible.

Choix d'une configuration : capteur horizontal ou vertical ?

Actuellement, en France, ce sont les configurations avec capteurs horizontaux qui sont les plus répandues. Ces systèmes sont les moins coûteux mais nécessitent de disposer d'une surface de terrain suffisante. Ils sont donc surtout réservés au chauffage des maisons individuelles.

Les configurations verticales sont très bien développées à l'étranger et l'on commence à voir des réalisations en France. Ces systèmes sont plus coûteux mais sont un peu plus performants. Leur emprise au sol est nettement plus réduite. Ils peuvent donc convenir pour chauffer des maisons individuelles, mais surtout de petits ensembles de logements et d'immeubles de bureaux qui sont limités par la surface environnante.

5.1.3 LES PIEUX ENERGETIQUES

Il existe aussi ce que l'on appelle les **pieux géothermiques**. Dans le cas de construction de bâtiments nécessitant des pieux à grandes profondeurs, il est possible d'utiliser ces structures de béton pour capter l'énergie thermique du sol. Les capteurs sont alors installés au cœur des fondations, d'où leur nom de pieux géothermiques.

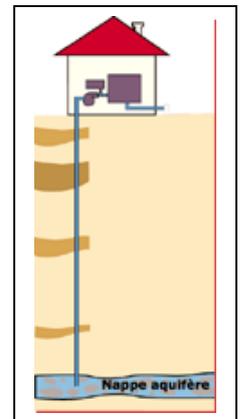


5.1.4 LES PAC SUR EAU DE NAPPE

La chaleur du sous-sol est celle contenue dans l'eau de **nappes aquifères peu profondes (moins de 100 m)** captée par forage.

Dans les systèmes à un seul forage, l'eau de nappe prélevée est rejetée dans une rivière, un plan d'eau ou un réseau d'eaux pluviales après qu'on y a prélevé les calories nécessaires.

Ce dispositif est intéressant d'un point de vue coût (un forage unique à réaliser), mais des difficultés apparaissent lorsque des volumes d'eau sont à rejeter. Il a été couramment utilisé pour des installations de faibles puissance mais la tendance actuellement est de passer au dispositif à deux forages, essentiellement pour des raisons réglementaires liées à l'utilisation des eaux souterraines.



Le système à deux forages ou à doublet, est plus coûteux mais davantage utilisé car il évite le rejet en surface de l'eau prélevée dans la nappe. Le deuxième forage sert à réinjecter l'eau dans la nappe. Ce type de système est donc souvent destiné à des opérations de taille importante (type grand tertiaire), où peuvent être assurés des besoins de chaud et de froid. Cependant, elle reste applicable pour des besoins en chauffage de logements collectifs.

La garantie AQUAPAC

L'ADEME, le BRGM et EDF ont créé la procédure AQUAPAC. Il s'agit d'une procédure qui garantit la ressource en eau souterraine à faible profondeur utilisée à des fins énergétiques pour une pompe à chaleur. Le maître d'ouvrage qui la souscrit est indemnisé si la recherche d'un débit d'eau suffisant échoue, ou si le débit de la nappe utilisée diminue après l'installation de la pompe à chaleur.

AQUAPAC assure aussi bien une *garantie de recherche* qu'une *garantie de pérennité* [5].

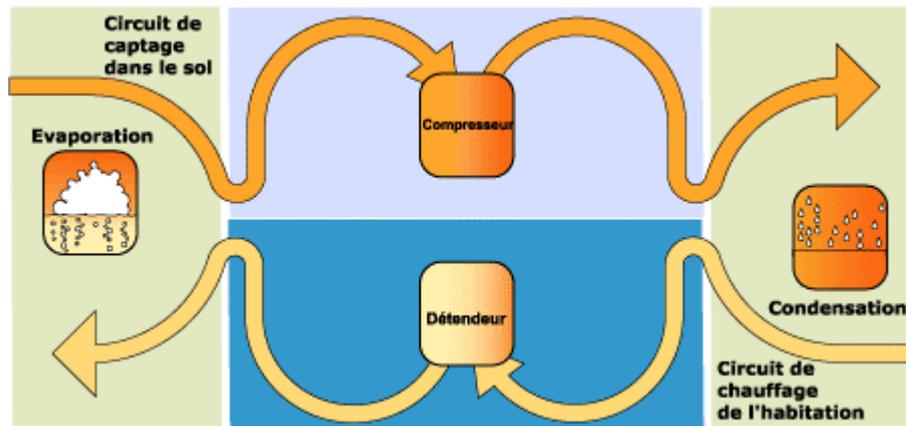
5.2 LES TECHNOLOGIES

Source : Ademe [21]

Il existe différentes technologies pour les PAC géothermiques. La principale différence tient à la nature des fluides circulant dans les capteurs et les émetteurs de chauffage.

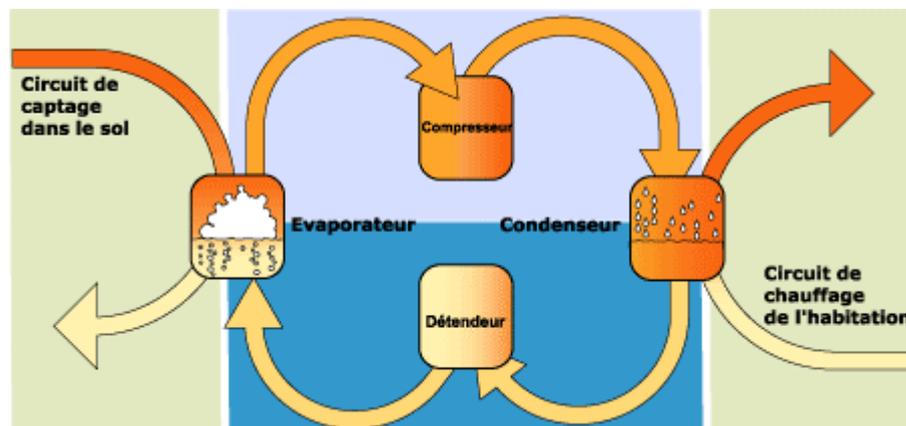
Le procédé à détente directe ou « sol-sol »

Le fluide frigorigène circule dans les capteurs et le plancher chauffant. Les constructeurs parlent alors de PAC sol / sol. Ce procédé n'est utilisable qu'avec des capteurs horizontaux.



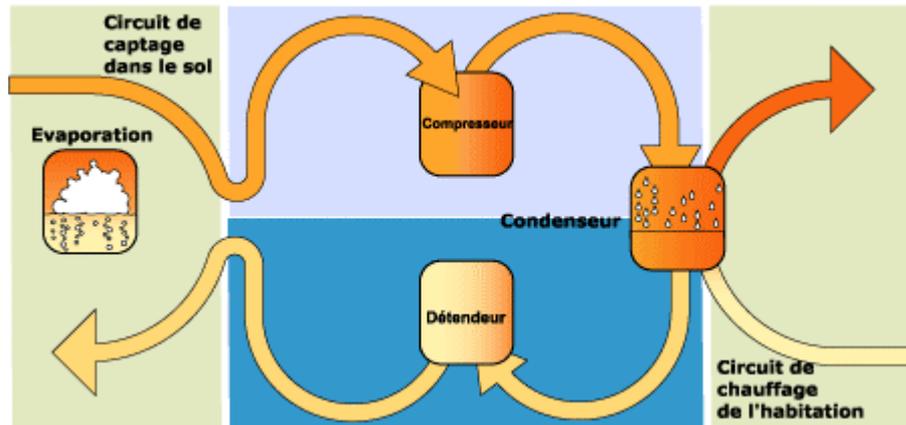
Le procédé avec fluide intermédiaire ou « eau glycolée-eau »

De l'eau additionnée d'antigel circule dans les capteurs et de l'eau circule dans les émetteurs de chauffage. Le fluide frigorigène reste confiné dans la PAC. On parle de PAC de type eau glycolée/eau. Le procédé est utilisable en capteurs horizontaux ou verticaux.



Le moyen terme ou procédé mixte ou « sol-eau »

Le fluide frigorigène de la PAC circule dans les capteurs et de l'eau circule dans les émetteurs de chauffage. Les PAC sont de type sol / eau. Ce procédé n'est utilisable qu'avec des capteurs horizontaux.



Choix d'une technologie

PAC à DETENTE DIRECTE	
Chauffage d'appoint	• pas nécessaire
Eau chaude sanitaire	• production possible en période de chauffage
Rafraîchissement	• pas possible sur plancher chauffant, • possible avec des ventilo-convecteurs
Adaptabilité	• difficulté avec le plancher, si souhait éventuel de changer de mode de production de chaleur
Avantages	• système simple • coût limité
Inconvénients	• grosse quantité de fluide frigorigène • étanchéité du circuit primordiale • utilisation des capteurs verticaux impossible • mise en oeuvre du circuit de chauffage délicate
Coûts	• d'investissement : de 70 à 100 € TTC par m ² chauffé hors eau chaude sanitaire et rafraîchissement • de fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m ² et par an

PAC à FLUIDES INTERMEDIAIRES	
Chauffage d'appoint	• pas nécessaire
Eau chaude sanitaire	• production possible (PAC indépendante ou non)
Rafraîchissement	• possible et bien maîtrisé
Avantages	• peu de fluide frigorigène • fluide frigorigène confiné dans la PAC • le circuit de chauffage peut être conservé, si souhait éventuel de changer de mode de production de chaleur
Inconvénients	• coût d'investissement supérieur à la détente directe pour les petits logements
Coûts	• d'investissement : Systèmes à capteurs horizontaux de 85 € TTC/m ² chauffé (option chauffage) à 135 € TTC/m ² chauffé (option chauffage et rafraîchissement) Systèmes à capteurs verticaux De 145 à 185 € TTC/m ² chauffé • de fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m ² et par an

6. D'AUTRES TYPES DE PAC

6.1 LA PAC SUR AIR

Source : Ademe [21]

Le principe

Les calories nécessaires au chauffage de la maison sont puisées dans l'**air extérieur**. Cette source de chaleur est facilement exploitable, sans capteur important ou coûteux à installer et sans autorisation spéciale.

Le chauffage est assuré soit par de l'air chaud pulsé (pompe à chaleur air / air), soit par le biais d'un circuit hydraulique alimentant un plancher chauffant, des radiateurs ou des ventilo-convecteurs (pompe à chaleur air / eau).

Ces pompes à chaleur sont réversibles et peuvent rafraîchir la maison en été.

Les conditions d'utilisation

Contrairement à la température du sol qui reste stable tout au long de l'année entre 10 et 15 °C, celle de l'air extérieur fluctue et peut devenir très basse.

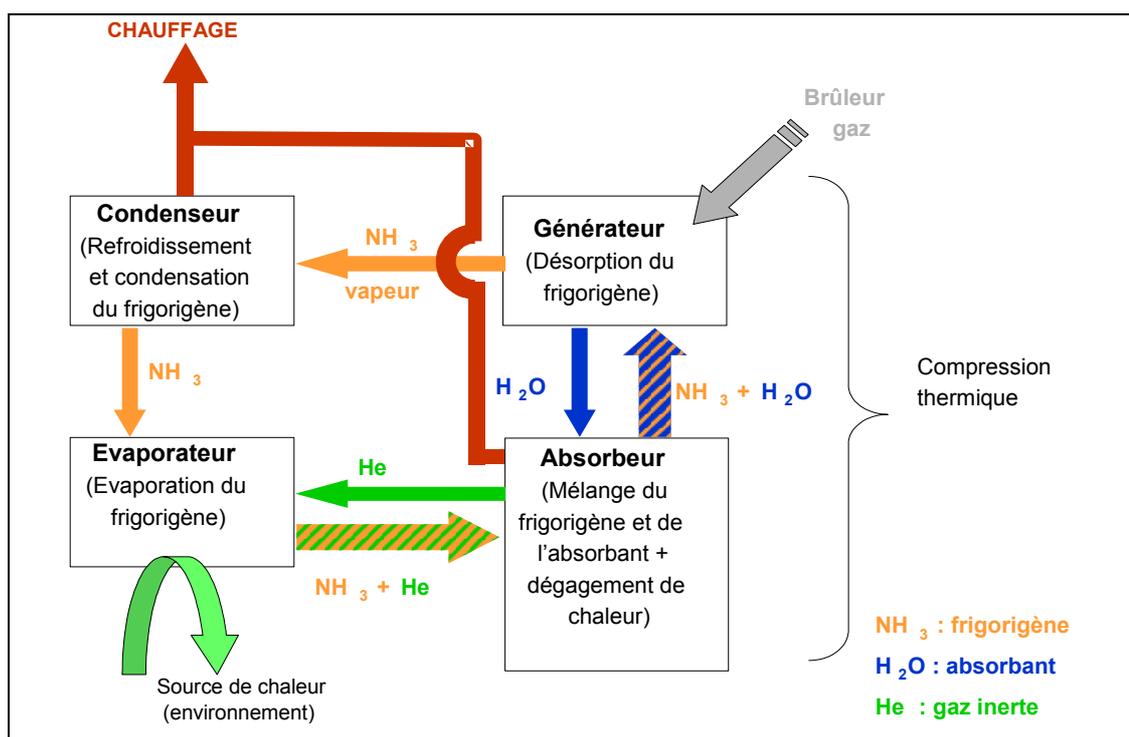
Or la performance d'une PAC est directement proportionnelle à la différence entre la température du milieu où l'on prélève la chaleur et la température de consigne du chauffage. Plus cet écart est important, moins bonne est la performance. C'est pourquoi les PAC sur air sont moins performantes que les PAC géothermiques. Il est plutôt conseillé de les installer dans des zones à climat doux, comme les zones côtières par exemple.

De plus, quand il fait froid, l'évaporateur situé en contact avec l'air extérieur peut givrer, ce qui diminue aussi l'efficacité de la PAC. C'est pourquoi ces pompes sont assorties d'une régulation qui inverse périodiquement et pour un court moment leur fonctionnement : ceci assure le dégivrage de l'évaporateur.

Dans la plupart des régions, il est nécessaire de prévoir un chauffage d'appoint qui prenne le relais de la PAC lorsque la température extérieure devient trop basse.

6.2 LA PAC A ABSORPTION

6.3 LA PAC A ABSORPTION-DIFFUSION



Principe de fonctionnement d'une PAC à absorption-diffusion

Quelques références relatives à ce type de PAC : [23], [24], [25].

7. LES RENDEMENTS

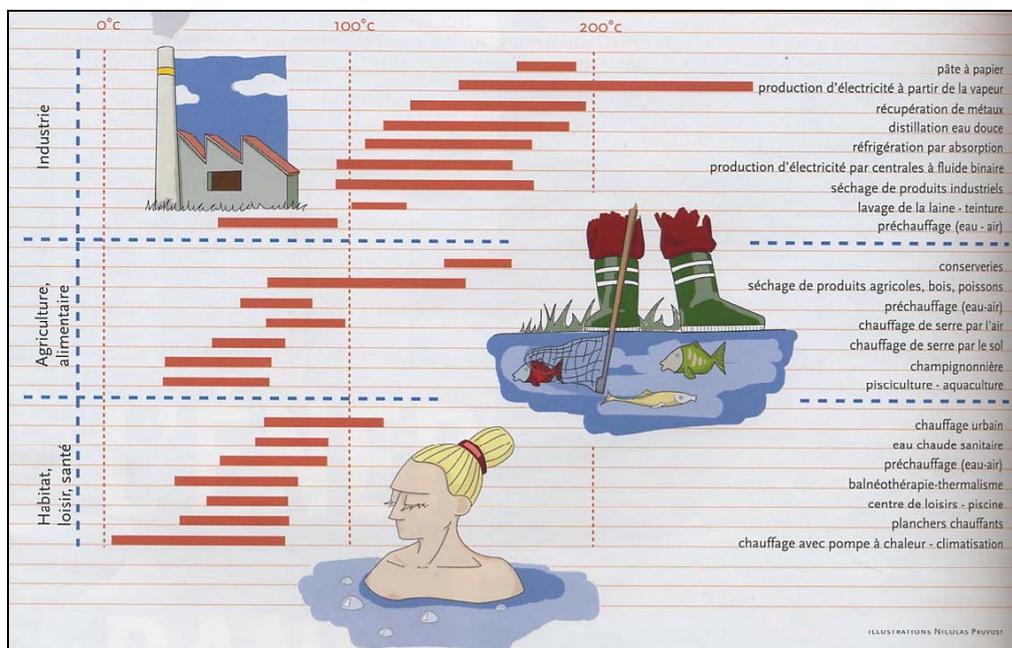
La performance énergétique d'une pompe à chaleur se traduit par **le rapport entre la quantité de chaleur produite par celle-ci et l'énergie électrique consommée** par le compresseur. Ce rapport est le coefficient de performance (**COP**) de la pompe à chaleur.

Pour les PAC à compression électrique, en moyenne, pour 1 kWh électrique consommé, une pompe à chaleur (à compression électrique) produit en moyenne 2 à 4 kWh de chaleur (COP de 2 à 4). Facteurs influant sur le rendement d'une pompe à chaleur :

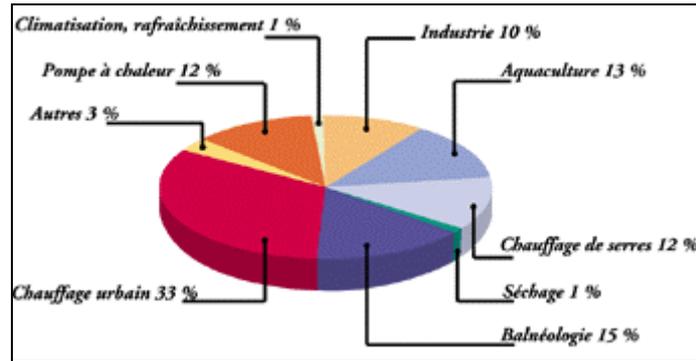
- température de la source de chaleur et du système de distribution de la chaleur,
- la consommation d'énergie auxiliaire (pompes,...)
- le rendement nominal de la pompe,
- le dimensionnement de la pompe à chaleur par rapport à la demande et aux conditions de fonctionnement,
- le système de contrôle de la pompe à chaleur.

8. LES APPLICATIONS DES PAC GEOTHERMIQUES

L'importance des travaux nécessaires à la mise en œuvre d'une installation géothermique de très basse température destine ce type de technologies généralement à des bâtiments neufs ou à des opérations de réhabilitation lourde.



Les usages de la géothermie en fonction de la température de la source [3]



Répartition des applications de la géothermie

9. LES COUTS

L'ADEME donne les chiffres ci-dessous en fonction de la technologie de la PAC considérée [20] [21] :

PAC à détente directe

- Coût d'investissement : de 70 à 100 € TTC par m² chauffé hors eau chaude sanitaire et rafraîchissement
- Coût de fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an

PAC à fluide intermédiaire

- Coût d'investissement : systèmes à capteurs horizontaux, de 85 € TTC/m² chauffé (option chauffage) à 135 € TTC/m² chauffé (option chauffage et rafraîchissement) - systèmes à capteurs verticaux, de 145 à 185 € TTC/m² chauffé
- Coût de fonctionnement : de 2,3 à 3,5 € TTC par m² et par an

Le temps de retour d'une installation est inférieure à 5 ans pour des capteurs horizontaux et comprise entre 5 et 10 ans pour des capteurs verticaux [20].

10. LES AIDES

10.1 ADEME

Ses principales actions au niveau national :

- **Incitation à l'utilisation de l'énergie géothermique**, aide aux programmes et aux opérations existantes (réseau de chaleur en Ile de France, production d'électricité dans les DOM, ...).
- **Soutien à la diffusion des pompes à chaleur géothermales** pour le chauffage et la climatisation des bâtiments, au travers de la structuration de l'offre professionnelle sur tout le territoire, en collaboration avec EDF (label, qualification de matériels,...).
- **Aide à la recherche** sur la géothermie profonde et l'exploitation de roches chaudes sèches (pilote scientifique en Alsace).
- **Relance des inventaires de potentiel géothermique** (avec le BRGM).

10.2 LE CREDIT D'IMPOT

Le crédit d'impôt en faveur des équipements utilisant une énergie renouvelable (dont les PAC) est prolongé jusqu'au 31 Décembre 2005 (JO du 31 Décembre 2002). Ces mesures concernent **l'intégration d'une pompe à chaleur dans un logement neuf ou l'acquisition d'une pompe à chaleur dans le cadre de travaux d'amélioration de l'habitat.**

L'ensemble des pompes à chaleur (sur air, eau ou sol) entre dans le champ d'application de ce crédit d'impôt. Sont concernés par ce crédit d'impôt les systèmes de captage (unités extérieures à air, capteurs enterrés dans le sol ou les eaux) et les *systèmes de stockage et d'appoint et de production de chaleur*. Toute la partie de l'installation ayant pour objet de distribuer la chaleur dans le logement n'est pas éligible au crédit d'impôt.

Ce crédit d'impôt concerne les pompes à chaleur installées dans un logement neuf ou ancien affecté à l'habitation principale du contribuable, qu'il soit propriétaire, locataire ou occupant à titre gratuit, qu'il s'agisse d'une maison individuelle ou d'un appartement situé dans un immeuble collectif. Une pompe à chaleur installée dans un immeuble collectif ouvrait déjà droit à ce crédit d'impôt, au titre des gros équipements de chauffage.

Dans un logement acheté neuf, la pompe à chaleur doit avoir été intégrée par le vendeur ou le constructeur. Dans un logement en construction ou ancien, elle doit être fournie par l'entreprise chargée de l'installation (joindre à la déclaration d'impôt la facture de l'entreprise qui a fourni les équipements).

Pour les logements achevés depuis plus de deux ans, ce crédit d'impôt est cumulable avec la TVA réduite, lorsqu'il s'agit d'une pompe à chaleur installée dans une maison individuelle ou un appartement d'un immeuble collectif, fournie, installée et facturée par une entreprise.

Ce crédit d'impôt se monte à **15 % des dépenses** (subventions déduites, frais d'installation exclus) facturées et payées entre le 1^{er} janvier 2001 et le 31 décembre 2005. Le montant est toutefois plafonné.

<http://www.impots.gouv.fr>

10.3 EDF

Sous certaines conditions, EDF peut délivrer des accompagnements financiers (primes et / ou prêts à taux réduits,...) pour la mise en oeuvre d'une PAC. Les matériels éligibles aux aides EDF doivent bénéficier du label Promotelec.

<http://particuliers.edf.fr>

10.4 ANAH

L'ANAH (Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat) apporte sa contribution en matière d'énergies nouvelles et de lutte contre l'effet de serre en accordant une aide pour l'installation d'une PAC.

Le logement doit avoir plus de quinze ans et être une résidence principale. L'ANAH propose depuis le 1^{er} Septembre 2002 une prime pour les pompes à chaleur (sous condition de ressources). Elle s'élève à 900 € pour l'installation (fourniture et main d'œuvre) d'une pompe à chaleur air/eau et à 1 800 € pour une pompe à chaleur sur capteurs enterrés.

<http://www.anah.fr/regl-frameset.htm>

11. SITUATION DE LA FILIERE

11.1 BAROMETRE DE LA GEOTHERMIE

Les tableaux qui suivent sont issus de la référence [6] et [18].

11.1.1 LA FILIERE PRODUCTION D'ELECTRICITE

Pays	1995	2000	2002
Amérique du Nord	3570	2983	2971
Amérique centrale et du Sud	231	407	416
Total Amérique	3801	3390	3387
Asie	1979	3075	3220
Union européenne	641	805	883
Autres pays d'Europe	81	213	297
Total Europe	722	1018	1180
Océanie	286	437	441
Afrique	49	54	128
Total monde	6837	7974	8356

source : EurObserv'ER

Evolution de la production d'électricité basée sur la géothermie dans le monde (MWe)

Pays	Puissance installée en 2000	Puissance installée en 2002
États-Unis	2228	2018
Philippines	1909	1834
Mexique	755	953
Italie	785	862
Indonésie	589,5	797
Japon	546,9	561
Nouvelle-Zélande	437	435
Reste du monde	722,8	896,2
Total	7973,2	8356,2

source : EurObserv'ER

Puissance géothermique installée dans le monde fin 2002 (MWe)

Pays	2001		2002	
	MWe	GWh	MWe	GWh
Italie	785	4376	862	4662
Portugal	16	119	16	119
France	4,3	21	4,3	21
Autriche	-	-	1	2
Total	805,3	4516	883,3	4804

source : EurObserv'ER

Situation en 2001 et 2002 de la géothermie haute température (production d'électricité) dans les pays de l'Union Européenne

11.1.2 LA FILIERE PRODUCTION DE CHALEUR

Pays	2001		2002	
	Puissance (MWth)	Énergie produite (GWh)	Puissance (MWth)	Énergie produite (GWh)
Italie	426.2	1 337	426.2	1 337
France	327.6	1 360	330	1 488
Autriche	63.8	99	92.5	144
Allemagne	70.5	113	70.5	113
Grèce	56.7	106.1	69	135
Suède	47	266.7	47	266.7
Portugal	5.5	10	5.5	10
Danemark	4	15.2	4	15.2
Belgique	3.9	29.7	3.9	29.7
Royaume-Uni	2.3	5.2	2.3	5.2
Irlande	0.7	2.1	0.7	2.1
Finlande	-	-	-	-
Pays-Bas**	-	-	-	-
Total	1 008,1	3 344	1 051,6	3 545,9
Pologne	55,75	68	55,75	103,1

** Bien que ne disposant pas de ressources géothermales basse-énergie, les Pays-Bas ont développé la technologie du stockage inter-saisonnier dans les nappes aquifères, permettant en été de rafraîchir les bâtiments et de les chauffer en hiver. 225 systèmes de stockage inter-saisonnier sont installés aux Pays-Bas pour une puissance de 290 MWth. (Although The Netherlands don't have low energy geothermal deposits, they have developed the so-called seasonal storage technology which uses water tables. This technology stores waste heat in summer in groundwater to refresh buildings and in winter, the heated water is pumped up for heating. 225 systems of seasonal storage are currently in use in The Netherlands, for a total installed capacity of 290 MWth.)

Situation en 2001 et 2002¹ de la géothermie basse température dans l'UE hors PAC

Pays	2001		2002	
	Nombre	Puissance (MWth)	Nombre	Puissance (MWth)
Suède	147 000	882.0	176 000	1 056.0
Allemagne	66 653	533.2	73 455	587.6
France	28 500	453.0	36 500	541.0
Autriche	31 000	540.0	34 000	590.0
Finlande	18 356	296.0	19 833	320.0
Danemark	6 700	80.4	7 200	86.4
Pays-Bas	3 985	47.8	5 200	62.4
Belgique	2 100	21.0	2 250	22.5
Irlande	700	7.0	1 000	10.0
Grèce	150	2.0	150	2.0
Royaume-Uni	49	0.6	149	1.6
Italie	100	1.2	100	1.2
Total	305 293	2 864.0	355 837	3 281.0
Pologne	800	31.4	1 000	33.4

Pays	Nombre de PAC géothermales installées en 2002
Suède	29 000
France	8 000
Allemagne	6 802
Autriche	3 000
Finlande	1 477
Pays-Bas	1 215
Danemark	500
Irlande	300
Belgique	150
Royaume-Uni	100
Luxembourg	50
Espagne	n.d.
Italie	n.d.
Portugal	n.d.
Grèce	n.d.
Total U. E.	50 594
Suisse	4 155
Pologne	200

* Ne sont pas pris en compte les PAC exhaust-air, air-eau et air-air.
Not include exhaust-air, air-air and air-water heat pumps.

EurObserv'ER 2003

source : EurObserv'ER
Estimation EurObserv'ER

ER
ée des

Ci-dessous le bilan national de l'ADEME issu du compte-rendu de la Journée Géothermie du 9 avril 2003 organisée par l'Ademe.

Les pompes à capteurs horizontaux

Nous avons comptabilisé près de 8 000 réalisations de pompes à capteurs horizontaux en 2002 contre seulement 800 réalisations en 1997. Cette technique concerne essentiellement la maison individuelle. Il s'agit d'un marché en émergence forte composé d'une dizaine de PMI-PME employant de 30 à 50 personnes.

Les pompes à capteurs verticaux

Cette technique s'avère plus onéreuse et nécessite une compétence particulière pour le forage, compétence que nous ne trouvons pas toujours en France. Une formation est assurée conjointement par l'ADEME, le BRGM et EDF. Au cours des deux ou trois dernières années, environ 1 000 opérations ont été menées.

Les pieux énergétiques

Nous ne comptons pas de référence en France sur cette technique. Cependant, la France pourrait tirer des enseignements des 300 expériences menées à l'échelle européenne.

Les pompes sur eau de nappe

Environ une centaine d'opérations sont réalisées par an. Ces pompes permettent en moyenne une production comprise entre 150 et 200 tep par opération. Cependant, quelques grosses opérations peuvent produire jusqu'à 800 voire 1 000 tep. Pour cette technologie, nous (qui ?) allons tenter de relancer la procédure AQUAPAC.

11.2 UN MARCHÉ EN PLEINE EXPANSION

Apparues au début des années 80, promues par de larges campagnes publicitaires lors des crises énergétiques. Manque de fiabilité des matériels, contre-référence.....

Reprise importante depuis quelques années, notamment en Amérique du Nord et en Europe (Suisse et Suède).

11.3 BILAN DES ACTIONS INITIÉES PAR L'ADEME

11.3.1 BILAN DES ACTIONS SUR LA GEOTHERMIE DE SURFACE

Ce bilan est issu du compte-rendu de la Journée Géothermie du 9 avril 2003 organisée par l'Ademe.

Un accord-cadre sur la maîtrise de l'électricité (MDE) a été signé entre l'ADEME et EDF, accord dans le cadre duquel sont incluses des actions contre la chaleur en 2000. Dans le cadre de cette collaboration, plusieurs études ont été menées, notamment des études marketing sur la situation du marché de la chaleur en France. Au regard de ce qui se passe chez nos voisins européens, l'une des recommandations a été de favoriser le regroupement afin de remédier à la forte dispersion de la profession. Au début de l'année 2002, a été créée l'Association Française Pompes à Chaleur (AFPAC) qui regroupe une trentaine de membres. Cette association tente d'assurer la promotion des pompes à chaleur *via* une démarche de qualité. C'est ainsi qu'un travail est actuellement mené en vue d'élaborer une charte de qualité qui concernera essentiellement les installateurs de ces équipements.

S'agissant exclusivement des pompes à chaleur géothermiques, il convient de noter que le BRGM dispense une formation au forage. Il existe peu de savoir-faire en France sur la

conception de pompes à chaleur à capteur vertical : seule une trentaine de personnes suivent cette formation du BRGM. Si cette formation correspond aux besoins du marché, alors une formation plus rigoureuse pourra être proposée.

Dans le cadre de ces actions, une plaquette grand public sur les pompes à chaleur géothermiques a également été éditée. La procédure AQUAPAC est en train d'être revue. Un appel à projets a été lancé et un appel à projets spécifique aux pompes à chaleur géothermiques a été (?) lancé courant 2003. Cet appel à projets concernait plutôt les grandes installations. Par ailleurs, un site Internet sur la géothermie a été créée en collaboration entre l'ADEME et le BRGM et est entré en service dans le courant de l'année 2003. Ce site a pour vocation non seulement de diffuser l'information sur la géothermie mais aussi d'animer la filière des professionnels.

12. LA REGLEMENTATION

Le Moniteur Environnement a établi un récapitulatif des aspects réglementaires à respecter avant le lancement d'une opération de géothermie [8].

LE MONITEUR ENVIRONNEMENT

FICHE PRATIQUE

- ▶ **Quoi?** Les permis de recherche et d'exploitation sont accordés par décret ministériel pour les gîtes géothermiques à haute température et par arrêté préfectoral pour les gîtes à basse température.
- ▶ **Comment?** Les arrêtés préfectoraux fixent pour chaque exploitant des règles de suivi et d'intervention.
- ▶ **Qui?** En cas d'accident ou de pollution, seul le titulaire du permis minier est responsable.

Lancer une opération de géothermie

Qui est propriétaire du sous-sol?

C'est le propriétaire de la surface: l'article 552 du Code civil dispose que «la propriété du sol emporte celle du dessus et du dessous». Toutefois, lorsque le sous-sol contient des substances considérées comme des mines, l'Etat en devient possesseur.

Depuis la loi du 16 juin 1977 réformant le Code minier, les gîtes géothermiques ont été classés comme mines (article 3 du Code minier). Ils sont définis comme des «gîtes renfermés au sein de la terre dont on peut extraire de l'énergie sous forme thermique, notamment par l'intermédiaire des eaux chaudes et vapeurs souterraines qu'ils contiennent».

Le consentement du propriétaire du sol est-il toujours nécessaire pour se lancer dans une opération de géothermie?

Oui mais dans certains cas (articles 69 et suivants du Code minier), le préfet peut imposer au propriétaire une servitude d'occupation des terrains nécessaires à la recherche ou à l'exploitation. L'article 142 du Code minier punit d'une amende et d'une peine d'emprisonnement d'un an le fait d'effectuer des travaux de recherches: sans déclaration au préfet; ou, après mise en demeure du propriétaire de la surface et, à défaut de son consentement, sans autorisation du ministre; ou sans disposer d'un permis exclusif de recherches.

Quelles sont les autorisations nécessaires pour l'ouverture des travaux?

Elles sont définies dans le décret n° 78-498 du 28 mars 1978 pris en application du Code minier. On distingue les gîtes géothermiques dits à haute température de ceux dits à basse température selon que la température des eaux mesurée en surface est supérieure, inférieure ou égale à 150°C:

- pour les gîtes à haute température, les permis de recherche et d'exploitation sont accordés par décret ministériel

- pour les gîtes à basse température, les permis sont accordés par arrêté préfectoral.

L'ouverture des travaux, c'est-à-dire la réalisation des forages, est accordée simultanément ou dans un deuxième temps (décret n° 95-696 du 9 mai 1995). L'enquête publique, obligatoire, peut être commune aux deux procédures. L'étude d'impact peut être réalisée (décret n° 93-245 du 25 février 1993) par l'exploitant ou par un tiers (bureau d'étude) qu'il choisit.

Pour les gîtes à basse température, quelles sont les conséquences de l'autorisation?

L'autorisation de recherches détermine: soit l'emplacement des forages; soit le tracé d'un périmètre à l'intérieur duquel ces forages peuvent être exécutés. La validité de l'autorisation préfectorale ne peut excéder trois ans, période pendant laquelle le titulaire de l'autorisation est seul habilité à réaliser des forages dans le périmètre ainsi défini. Lui seul peut obtenir, pendant la durée de cette autorisation, un permis d'exploitation englobant les emplacements des forages autorisés. Si ses travaux ont fourni la preuve qu'un gîte est exploitable et s'il en fait la demande avant l'expiration de l'autorisa-

tion, le titulaire a droit à l'octroi d'un permis d'exploitation.

En quoi consiste le contrôle de l'administration?

La direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire) a en charge la gestion des permis miniers avec le souci de valoriser au mieux la ressource géothermique et d'éviter les conflits d'usage. Les arrêtés préfectoraux fixent pour chaque exploitant des règles de suivi et d'intervention visant: d'une part, à prévenir le risque de pollution des nappes d'eau douce traversées par les puits, par l'eau géothermale et, d'autre part, à éviter toute mise en communication d'aquifères de natures différentes et ceci, pendant la réalisation des forages, pendant l'exploitation mais également lors de l'abandon des puits.

Qui est responsable en cas d'accident ou de pollution?

C'est le titulaire du permis minier, qui correspond au maître d'ouvrage dans le monde de la géothermie. Il peut déléguer certaines responsabilités dans les formes prévues par le règlement général des industries extractives (RGIE) mais reste toujours juridiquement responsable au regard du Code minier. ■

Les exploitations de «minime importance»

Il s'agit des exploitations géothermiques qui correspondent à des prélèvements de chaleur souterraine dont le débit calorifique maximal possible calculé par référence à une température de 20°C est inférieur à 200 thermies par heure et dont la profondeur est inférieure à 100 mètres.

Le décret de 1978 dispense de permis ces exploitations qui sont uniquement soumises aux textes d'application de la loi sur l'eau. Généralement, seule est imposée une déclaration à la Drire un mois avant la mise en service (mais dans certains cas, une autorisation sera cependant nécessaire).

Ce type de prélèvement est utilisé de plus en plus pour les pompes à chaleur. Or des nuisances peuvent résulter du rejet de ces eaux dans le réseau public d'assainissement. Aussi les maires qui ne peuvent contrôler ce pompage dans les nappes phréatiques ont le droit de refuser le rejet des eaux dans le réseau communal (article L. 35-8 du Code de la santé publique).

EN SAVOIR PLUS

RENSEIGNEMENTS AUPRÈS DE LA DRIRE

et des services départementaux chargés de la police de l'eau: DDASS ou DDAF.

OUVRAGES

- [1] La chaleur de la Terre, R. Ferrandes, 1998, 400 p., ISBN : 2-86817-301-2
- [2] ATLAS DE France " Milieux et Ressources ", GIP RECLUS, La documentation française, Vol. 6, 1995, p.144, ISBN 2-11-003378-9

ARTICLES DE REVUE

- [3] Systèmes solaires , n°148 mars-avril 2002, pp. 21-35
- [4] Systèmes solaires , n°113 mai-juin 1996, pp. 30-45
- [5] Systèmes solaires , n°154 mars-avril 2003, pp. 71-83
- [6] Systèmes solaires , n°156 juillet-août 2003, pp. 35-48
- [7] Systèmes solaires, n°159 janvier-février 2003
- [8] Le moniteur Environnement, 20 juin 2003, pp.61-77

LIENS INTERNET

- [9] <http://www.ademe.fr>
- [10] <http://www.afpac.org>
- [11] <http://www.brgm.fr>
- [12] <http://www.geothermal-energy.ch>
- [13] <http://solstice.crest.org/geothermal/>
- [14] <http://iga.igg.cnr.it/index.php>
- [15] http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_en.html
- [16] <http://www.igshpa.okstate.edu/>
- [17] <http://www.pac.ch>
- [18] Le baromètre de la géothermie, <http://www.energies-renouvelables.org>
- [19] Le baromètre européen 2003 des énergies renouvelables, <http://www.energies-renouvelables.org>
- [20] Les PAC géothermales, le point de vue de l'ADEME, P. Laplaige, ADEME, 13p. , <http://www.cler.org/protected/clerinfos/Ci23/Ci2306.pdf>
- [21] Guide pratique de l'ADEME sur les pompes à chaleur, <http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/pacq/index.htm>
- [22] <http://www.soultz.net>

TECHNIQUE DE L'INGENIEUR

- [23] Machines thermofrigorifiques, Systèmes à éjection et à absorption, Maxime Duminil, BE 9 735

- [24] Machines thermofrigorifiques, Calcul d'un système à absorption, Maxime Duminil, BE 9 736
- [25] Pompes à chaleur et systèmes apparentés, R. Dehausse et D. Marchio, B 2 440