

Chapitre 4: Ressources géothermales

1. Introduction : La géothermie, comme le fait deviner son étymologie, est l'énergie contenue dans la terre. C'est une énergie utilisée depuis des siècles notamment avec les thermes gallo-romains. Ce n'est cependant pas l'énergie la plus ancienne apprivoisée par l'homme puisque la première est incontestablement l'énergie de la biomasse, avec la maîtrise du feu.

On distingue 3 types de géothermie:

- La géothermie très basse énergie exploite des eaux à moins de 30°, ou directement l'énergie contenue dans les roches. (système lié à une pompe à chaleur)
- La géothermie basse énergie utilise de l'eau entre 30 et 100°
- La géothermie haute énergie utilise de l'eau ou de la vapeur à plus de 100°, jusqu'à 250°. Elle permet de produire de l'électricité.

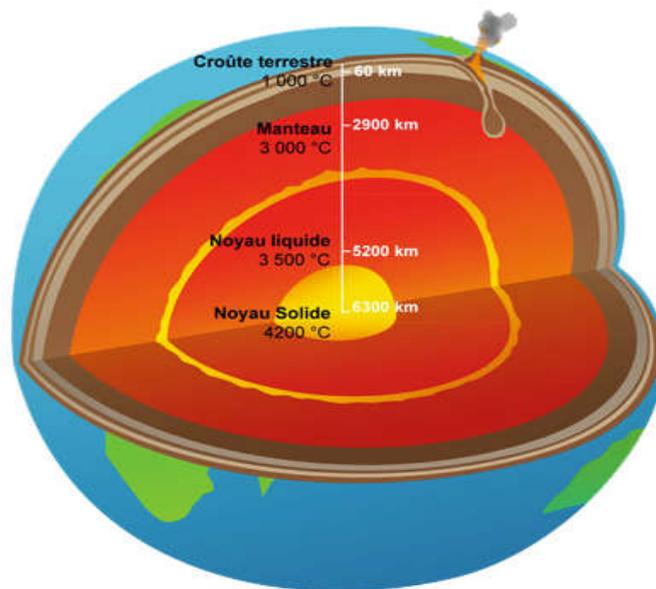


Figure 1 : Coupe du globe terrestre

2. Les différents types de géothermie

2.1. La géothermie très basse température

La géothermie basse température provient de l'énergie solaire. En effet, c'est le rayonnement solaire qui chauffe les premiers mètres sous Terre. La terre a un fort pouvoir d'inertie, la température sous terre est donc plus constante qu'à sa surface, à savoir entre 10 et 20°C selon la saison (environ 14°C de moyenne) à 1m de profondeur.

2.1.1. Captage horizontal

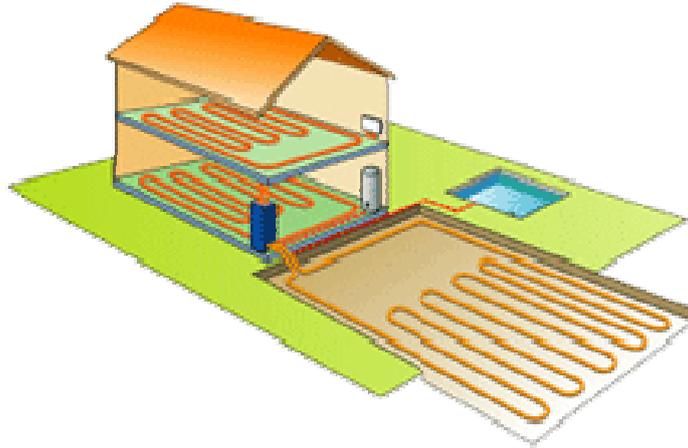


Figure 2 : Géothermie par captage horizontal.

C'est le type de captage le plus courant puisque le moins coûteux. En effet, le captage horizontal consiste à placer des tubes entre 80cm et 1,2m de la surface. A cette profondeur, la température est assez stable et ne varie que pendant les saisons entre 10 et 20°C. Si les travaux sont effectués lors de la construction de la maison, cela peut avoir un coût très faible puisque les engins sont déjà sur place. On considère qu'il faut entre 1,5 et 2 fois la surface de la maison pour chauffer convenablement. S'il est possible de planter des choses à la surface (fleurs, pelouse), les arbres et les terrasses sont eux à proscrire au-dessus des tubes. Cette technique possède un inconvénient majeur : si les tubes ne sont pas assez enterrés et/ou que les besoins en chauffage sont trop grands pour la surface de captage, la température de la terre risque de chuter jusqu'à faire geler la surface, tuant par la même tout ce que vous auriez pu planter au-dessus, y compris la pelouse.

2.1.2. Captage vertical

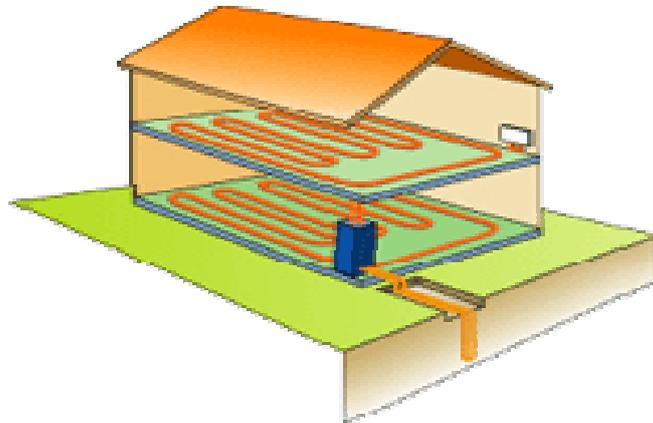


Figure 3 : Géothermie par captage vertical.

Cette technologie requiert deux sondes de 15 à 100m de profondeur. A cette profondeur, la température est beaucoup plus stable qu'avec un captage horizontal. Cependant, les forages coûtent très chers rendant cette solution beaucoup plus coûteuse que la précédente. Les sondes doivent être situées à une dizaine de mètres d'écart minimum. Il est donc possible d'installer ce type de système sur des petites surfaces de terrains. De plus, la surface ne risque pas de geler.

2.1.3. Captage sur nappe phréatique

Les capteurs géothermiques sur nappes phréatiques, aussi appelés doublets géothermiques fonctionnent à l'aide d'un ou deux forages.

Lorsqu'il n'y a qu'un forage, l'eau est extraite de la nappe avec une pompe puis on récupère ses calories grâce à l'échangeur de la PAC et on rejette l'eau dans un ruisseau ou une rivière (lorsque la réglementation l'autorise). Il n'est en effet pas possible de rejeter l'eau refroidie au même endroit sous peine de refroidir aussi l'eau qui sera pompée, ce qui diminuera sensiblement les performances de l'installation.

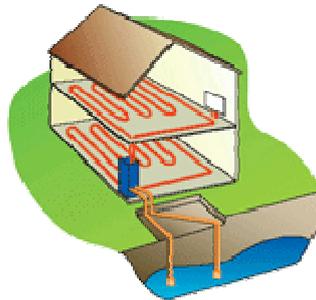


Figure 4 : Géothermie par captage sur eau de nappe.

L'autre solution (la plus courante) consiste à mettre en place une deuxième sonde donnant sur la même nappe phréatique, mais espacée de plusieurs mètres de la première. La température de l'eau pompée sera donc préservée de même que la quantité d'eau souterraine de la nappe qui est une denrée rare.

2.1.3.1. Principe de la pompe à chaleur géothermique

L'énergie géométrique s'obtient le plus souvent au moyen de pompes à chaleur, voir figure5, principe qui est également utilisé pour les forages profonds dans le cadre de travaux de grande envergure ne concernant pas les particuliers.

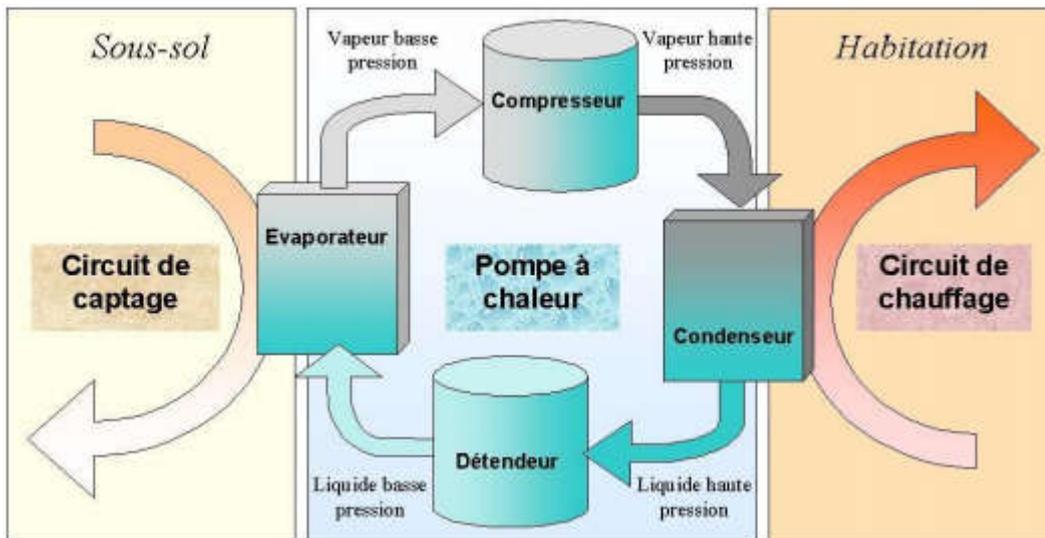


Figure 5 : Principe d'une pompe à chaleur appliquée à la géothermique

2.2. La géothermie basse température

La géothermie basse température se situe à des profondeurs allant de quelques centaines à quelques milliers de profondeur. A cette profondeur, seuls les changements de température saisonnier influe et de façon minime. Vous le savez peut-être, le noyau de la Terre est un énorme amas de magma extrêmement chaud. C'est donc grâce à lui que la géothermie basse température existe. Une notion très importante est la notion de gradient de température. On estime ainsi que pour chaque kilomètre plus près du centre de la Terre, on gagne 3°C. Un gradient de température est la distance qu'il faut pour augmenter de 1°C. Il faut également savoir que selon le type de sous-sol, le gradient de température sera différent. C'est-à-dire qu'entre deux zones différentes, à la même profondeur, la température sera différente.

La géothermie basse température se situe entre 30°C et 100°C. Les bassins aquifères sont idéals pour la géothermie basse température, puisque leur gradient de température est faible.

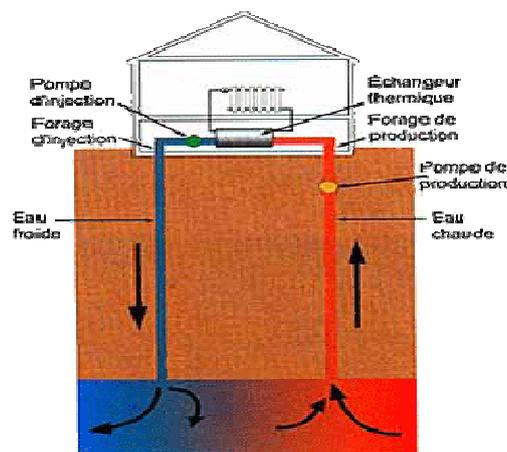


Figure 6 : Le principe du doublet géothermique

La géothermie basse température fonctionne sur le principe du doublet géothermique (capteurs verticaux sur nappe phréatiques). La température de l'eau est assez élevée pour se passer d'une pompe à chaleur. Il est en effet possible de chauffer directement des logements avec cette température via des réseaux de chaleur.

Beaucoup l'ignorent mais le plus grand réseau de chaleur (de France) se situe à Paris et fonctionne justement avec la géothermie basse température. D'autres réseaux de chaleur fonctionnent en effet avec des chaudières à biomasse ou encore grâce à des usines d'incinération de déchets.

2.3. La géothermie haute/moyenne température

Le noyau de la Terre est un énorme amas de magma extrêmement chaud. C'est grâce à lui que la géothermie haute température existe. Une notion très importante est la notion de gradient de température. On estime ainsi que pour chaque kilomètre plus près du centre de la Terre, on gagne 3°C. Un gradient de température est la distance qu'il faut pour augmenter de 1°C. Il faut également savoir que selon le type de sous-sol, le gradient de température sera différent. C'est-à-dire qu'entre deux zones différentes, à la même profondeur, la température sera différente.

Cette technologie nécessite des sols particuliers où la température est naturellement élevée (>150°C), c'est le cas notamment des zones volcaniques où la température de sous-sol peut augmenter de 1000°C/100m.

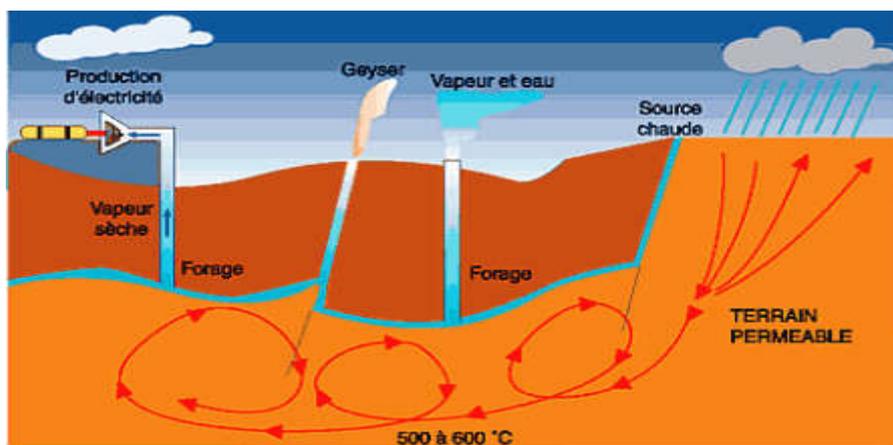


Figure 7 : Principe l'exploitation énergie géothermique

La géothermie haute température consiste là encore à un doublet géothermique. A ces profondeurs, l'eau pompée est supérieure à 200°C.

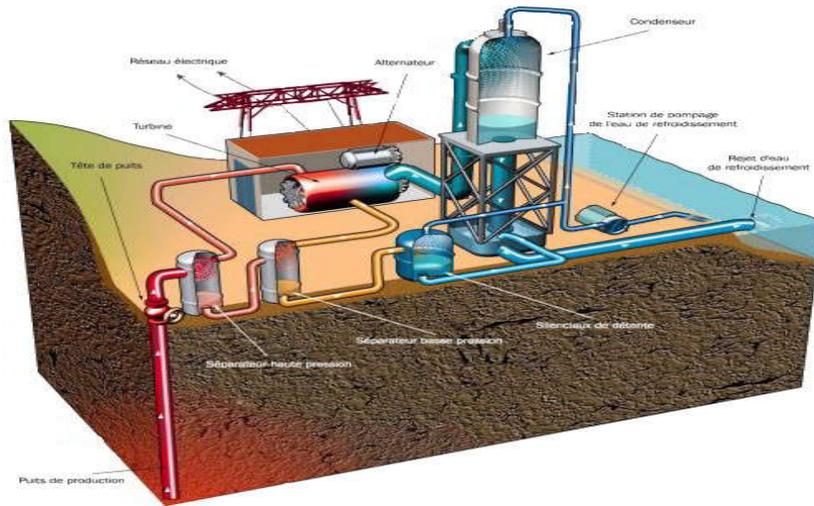


Figure.8 : Schéma d'une installation-type de géothermie

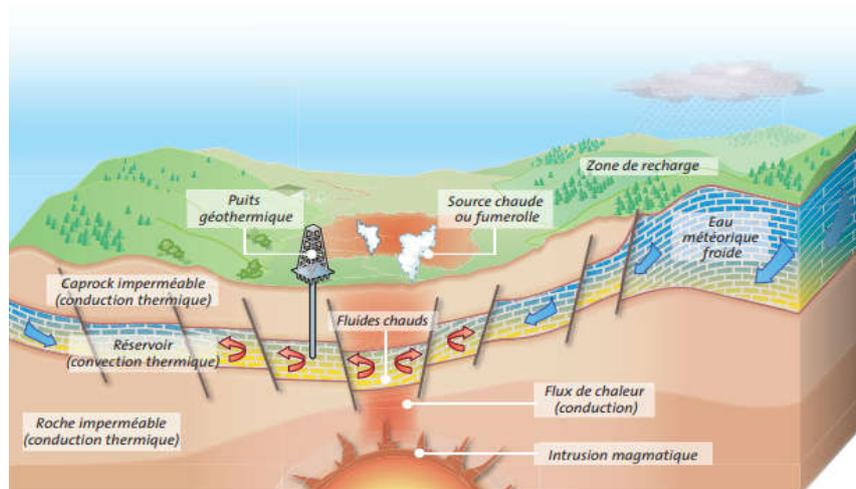


Figure.9 : Schéma de la centrale géothermique de la Bouillante

3. Les différentes applications de la géothermie suivant la température

Tableau 1. Les différentes applications de la géothermie

Type de géothermie	Température en °C	Domaines d'utilisation	
Haute énergie	200 et plus		Production d'électricité par la méthode conventionnelle
	190	Réfrigération par absorption	
	180	Préparation de pâte à papier	
	170	Fabrication d'eau lourde	
	160	Séchage de poisson et de bois	
	150	Fabrication d'alumine	
Moyenne énergie	140	Séchage de produits agricoles	Production d'électricité par cycle binaire
	130	Evaporation	
	120	Production d'eau douce par distillation	
	110	Séchage de parpaings de ciment	
	100	Séchage de légumes	
	90	Déshydratation	
Basse énergie	80	Chauffage urbain – chauffage de serres	
	70	Réfrigération	
	60	Elevage d'animaux	
	50	Balnéothérapie	
	40	Chauffage de sols	
Très basse énergie	30	Piscine, fermentation	
	20	Pisciculture	

4. La production d'électricité géothermique : La production d'électricité géothermique consiste à convertir la chaleur des nappes aquifères haute température (de 150 à 350°C) à l'aide de turboalternateurs. Si la température de la nappe est comprise entre 100 et 150°C, il est également possible de produire de l'électricité, mais en utilisant la technologie du cycle binaire. Dans ce cas, un échangeur transmet la chaleur de la nappe à un fluide (isobutane, isopentane, ammoniac) qui a la propriété de se vaporiser à une température inférieure à celle de l'eau.

5. La disponibilité des ressources géothermiques : Cette chaleur est variable selon les zones. À la surface du globe, le flux géothermique moyen est faible (il s'agit de l'énergie disponible pour une superficie et une période données). Ce flux s'élève à 0,06 watt par mètre carré et par an, soit 3 500 fois moins que le flux d'énergie solaire reçu en une année par la même surface de sol ! C'est pourquoi on cherche à exploiter en priorité les ressources calorifiques de certaines zones susceptibles de fournir des quantités d'énergie importantes. Ces « réservoirs géothermiques » sont disponibles dans tous les bassins sédimentaires de la planète mais la géothermie haute énergie se situe surtout à proximité de volcans. Dans ces zones, le flux géothermique peut atteindre 1 watt/m²/an.

Les réservoirs géothermiques ont tendance à s'épuiser au fur et à mesure de leur exploitation, certains plus rapidement que d'autres. Leurs capacités de renouvellement reposent sur :

- Des sources de chaleur internes à la croûte terrestre (radioactivité essentiellement et chaleur résiduelle) ;
- Des apports d'énergie venus de l'extérieur du réservoir (chaleur solaire) pour les usages de très basse température au moyen de pompes à chaleur (PAC). Assurer ces conditions de réchauffement se révèle d'autant plus crucial pour les PAC géothermales que le sous-sol est également refroidi par des facteurs extérieurs : en hiver, par exemple, on y récolte moins de chaleur ;
- La circulation des eaux souterraines qui leur permet de se réchauffer au contact de sources de chaleur éloignées du réservoir, avant de réintégrer celui-ci. Ainsi, pour pouvoir exploiter un réservoir de manière durable, on doit veiller à la reconstitution progressive de ses ressources calorifiques. Cela passe par le plafonnement des quantités de chaleur prélevées et la limitation dans le temps de l'exploitation du site.

En outre, la disponibilité de l'énergie géothermique est limitée géographiquement. Le transport de la chaleur sur de longues distances génère en effet d'importantes pertes thermiques. Il en résulte une difficulté à faire correspondre lieux de production et lieux de consommation pour couvrir les besoins en énergie.