

## **Chapitre 5: La Géothermie**

Actuellement, le développement durable s'intéresse à d'autres filières énergétiques, plus respectueuses de l'environnement et quasiment inépuisables pour l'homme, comme la géothermie. L'énergie géothermique est un mot composé (du grec géo = la terre et thermie = la chaleur) qui désigne l'énergie provenant de la chaleur naturelle présente dans la croûte terrestre et dans les couches superficielles de la terre.

### **5.1. Le flux géothermique**

Le Flux géothermique ou flux de chaleur est la quantité d'énergie évacuée par la Terre, exprimée par unité de surface et par unité de temps.

Le flux thermique en un point donné est obtenu en multipliant la conductivité thermique et le gradient thermique. Il dépend de la radioactivité des roches et du refroidissement de la chaleur initiale de la terre par cristallisation du noyau terrestre et il est variable suivant le contexte.

Le flux moyen est de 65 W/m<sup>2</sup> à la surface des continents et de 101 W/m<sup>2</sup> à la surface du plancher des océans soit 87 W/m<sup>2</sup> pour l'ensemble du globe.

Il existe trois grandes techniques pour l'exploitation de la géothermie:

- **La production d'électricité :** Une ressource à vapeur dominante (à vapeur sèche) peut être utilisée directement pour faire tourner un turbogénérateur conçu pour produire de l'électricité, mais est influencée par les coûts de forage et de l'infrastructure.
- **L'utilisation directe :** Les ressources en énergie géothermique pour des projets d'utilisation directe dans des conditions de température basse à intermédiaire peuvent couvrir jusqu'à 80 à 90% de la demande annuelle de chauffage ou de refroidissement et existent dans au moins 80 pays à des profondeurs de forage économiques.
- **Les pompes à chaleur géothermique :** Utilisent la température relativement stable de la planète à proximité de la surface pour chauffer, refroidir ou approvisionner en eau chaude les habitations, les écoles et d'autres bâtiments.

## 5.2. Production l'électricité à base la géothermie

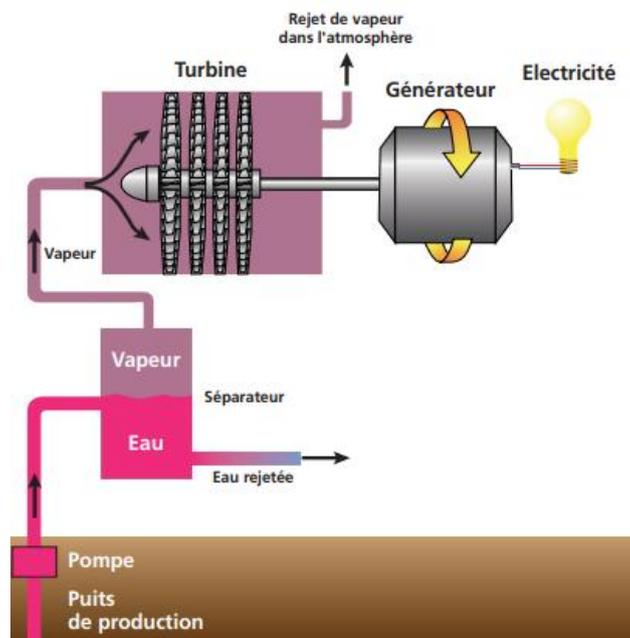
La production d'électricité à partir de la géothermie connue depuis un siècle est devenue significative à partir des années 1970. Aujourd'hui, les technologies permettent la production électrique à partir de températures de plus en plus basses et les systèmes géothermiques stimulés dits EGS offrent des perspectives prometteuses.

Selon la nature et les propriétés du fluide arrivant en surface, on utilise différents systèmes pour produire de l'électricité.

### 5.2.1. Production l'électricité en zone active

#### a. Centrales à échappement libre ou à contre-pression

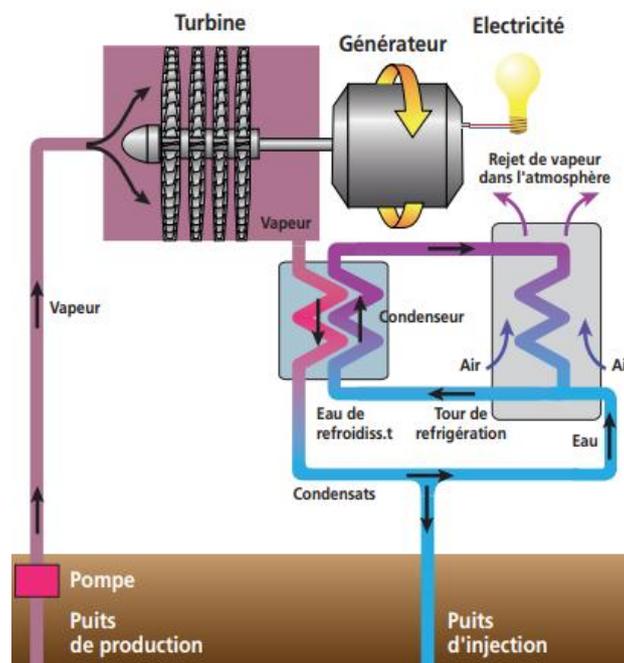
La vapeur, obtenue après séparation de la phase liquide, est directement détendue dans une turbine et rejetée à l'atmosphère à l'échappement de la turbine. Ce type de centrale est utilisé lorsque la vapeur géothermale contient une quantité élevée de gaz incondensables ou pour satisfaire des demandes électriques faibles ou lors de la phase initiale de grands projets de géothermie. Il s'agit d'unités modulaires et portables, installées le plus souvent en tête de puits et de puissance unitaire comprise entre 1 et 5 MW.



**Figure.5.1:** centrale à échappement libre ou à contre-pression.

### b. Centrales à condensation

En sortie de turbine, la vapeur n'est plus rejetée à l'atmosphère mais condensée. L'intérêt est d'obtenir une pression à l'échappement de la turbine inférieure à la pression atmosphérique (échappement sous condition de vide) et d'augmenter ainsi le rendement de conversion thermoélectrique. En règle générale, les turbines utilisées sont à simple flux de vapeur. Cependant, il est possible aussi de recourir à des turbines à double flux. La gamme de puissance des turbines à condensation va de 10 à 55 MW, avec plus fréquemment des tailles unitaires de 20, 35 ou 55 MW.

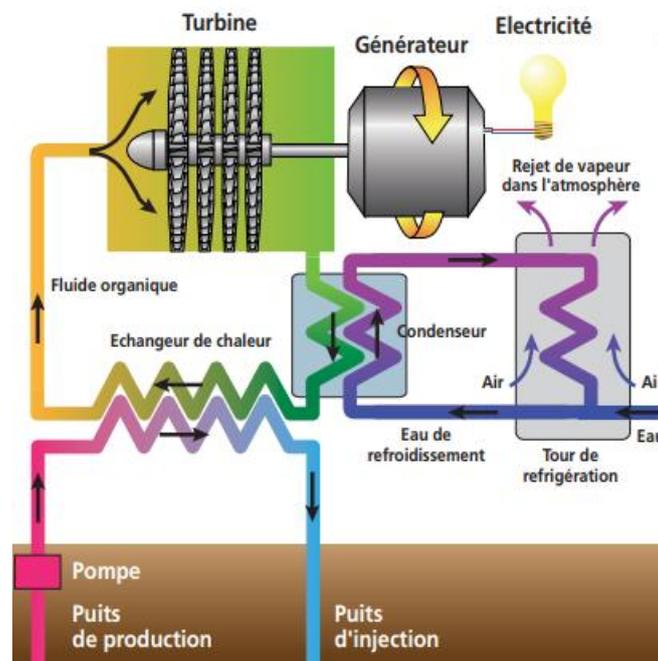


**Figure.5.2:** centrale à condensation.

### c. Centrale à fluide binaire

Pour valoriser des ressources de moindre température (température de réservoir à moins de 120 °C), on a recours à une autre technologie : celle utilisant le principe du cycle de Rankine à fluide organique (ORC\*, pour Organic Rankine Cycle) ou technologie à fluide binaire. Son principe est le suivant : le fluide géothermal extrait est amené dans un échangeur de chaleur où il cède une partie de son énergie à un fluide organique (alcane, fluorocarbone, ammoniac, etc.), appelé fluide de travail, qui se vaporise (pour une pression identique, ce type de fluide présente la particularité de se vaporiser à des températures plus basses que celle de l'eau par exemple).

Les vapeurs produites sont ensuite détendues dans une turbine puis condensées au contact du circuit d'eau de refroidissement d'un condenseur. Le liquide obtenu est alors renvoyé à l'échangeur, par l'intermédiaire d'une pompe pour effectuer un nouveau cycle (vaporisation, détente, condensation, pressurisation). Le fluide de travail évolue donc en circuit fermé. Les centrales de ce type sont de taille unitaire plus modeste (quelques centaines de kW à quelques MW), sachant que l'on peut toujours, sur un même site, mettre en parallèle plusieurs unités, afin d'atteindre une capacité de production électrique importante, si la ressource géothermale disponible le permet.



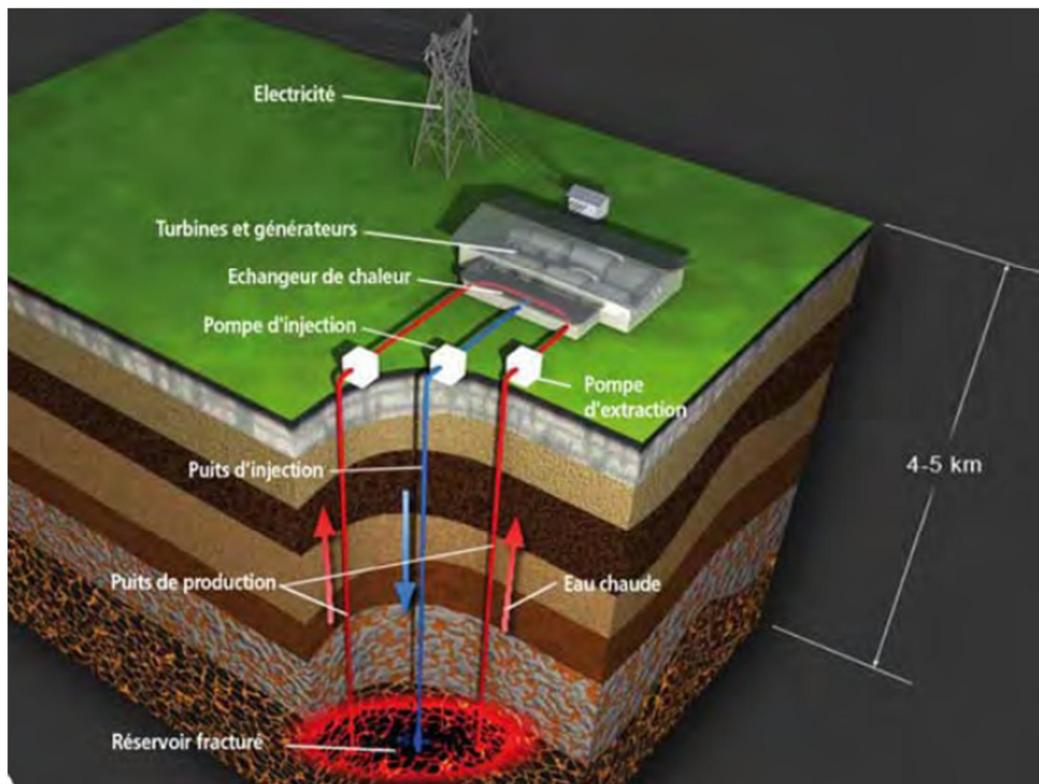
**Figure.5.3:** centrale géothermique à fluide binaire.

### 5.2.2. Production l'électricité à partir des systèmes géothermiques stimulés (EGS)

En géothermie classique, les productions se construisent sur des réservoirs de forte perméabilité capables de fournir des débits de production élevés. Les technologies de systèmes géothermiques améliorés ou réservoirs artificiellement stimulés dites EGS (*Enhanced Geothermal System*), s'attachent à améliorer les performances hydrauliques d'un milieu plus ou moins fracturé (roches de socle ou roches sédimentaires de bassins compacts) possédant des caractéristiques de porosité et de perméabilité trop faibles pour être exploitables avec des méthodes traditionnelles. L'extraction de chaleur dans ces formations devient donc possible à condition de stimuler

(hydrauliquement ou chimiquement) ces milieux pour favoriser la circulation du fluide et les échanges thermiques.

Ces technologies permettent une exploitation plus complète des champs hydrothermaux classiques et la réalisation de productions géothermales en dehors de tout contexte volcanique. Les cibles potentielles constituées de granites profonds sous une épaisse couverture sédimentaire sont particulièrement nombreuses sur les continents.



**Figure.5.4:** le principe des systèmes géothermiques stimulés (EGS).

### 5.3. Disponibilité des ressources géothermiques

Seule une fraction de l'énergie thermique de la planète peut être utilisée dans des zones où les conditions géologiques permettent à un vecteur (l'eau sous forme liquide ou de vapeur) de « transférer » la chaleur des zones chaudes profondes à la surface ou à proximité de cette dernière. En général, les ressources qui ont une température supérieure à 150°C sont utilisées pour la production d'électricité et les ressources dont la température est inférieure à 150°C pour chauffer

/ refroidir de façon directe. Les températures ambiantes comprises entre 5 et 30°C peuvent être utilisées par des pompes à chaleur, qui permettent à la fois de chauffer et de refroidir.

On considère que les ressources géothermiques peuvent représenter jusqu'à 8,3% de la production mondiale totale d'électricité, soit approvisionner 17% de la population mondiale. Trente-neuf pays (situés essentiellement en Afrique, en Amérique centrale/du Sud et dans le Pacifique) pourraient potentiellement couvrir 100% de leurs besoins en électricité grâce aux ressources géothermiques.

#### **5.4. Exemples d'applications domestiques de la géothermie**

La production d'électricité, le thermalisme et le chauffage urbain restent les applications les plus connues et les plus répandues de la géothermie. Mais les applications de la géothermie sont bien plus ouvertes.

##### **5.4.1. Systèmes de chauffage urbain**

Les systèmes de chauffage urbain et d'utilisation directe utilisent l'eau chaude provenant de sources ou de réservoirs situés près de la surface de la terre.

Les réservoirs géothermiques servent également à chauffer directement les bâtiments avec des systèmes de chauffage urbain.

##### **5.4.2. Chauffage et refroidissement**

L'une des utilisations de l'énergie géothermique est la pompe à chaleur géothermique. Ces pompes à chaleur permettent le chauffage et le refroidissement des bâtiments, ainsi que la préparation d'eau chaude sanitaire.

Pour la plupart des applications, des températures élevées ne sont pas nécessaires. Souvent, les températures requises peuvent être directement disponibles. Si cela ne suffit pas, la température peut être augmentée avec des pompes à chaleur.

## **5.5. Avantages et inconvénients**

### **5.5.1. Avantages**

- C'est un mode de chauffage économique : La chaleur du sous-sol est disponible en continu.
- Il est performant : Peu de perte d'énergie constatée entre les capteurs et la pompe à chaleur PAC.
- Il fonctionne partout dans le monde : Même si les zones volcaniques produisent plus de chaleur, la géothermie est peu influencée par la météo du lieu, contrairement à l'énergie solaire par exemple.
- Le chauffage géothermique est écologique : La production de chaleur génère peu de gaz à effet de serre.

### **5.5.2. Inconvénients**

- Certains terrains trop rocailloux ne sont pas éligibles à la géothermie.
- Le coût des installations nécessaires au chauffage géothermique est élevé.
- La rentabilité du dispositif ne se constate qu'à partir de la 5<sup>ème</sup> année.
- La géothermie horizontale nécessite un grand terrain tandis que le captage vertical de l'énergie a besoin de forage profond.