

## Thème 2-A

### La géothermie et les propriétés thermiques de la Terre

Classe : Terminale S

Durée envisagée : 1 semaine

Nombre de TP : 1

**En rouge** : Bilans à faire noter aux élèves

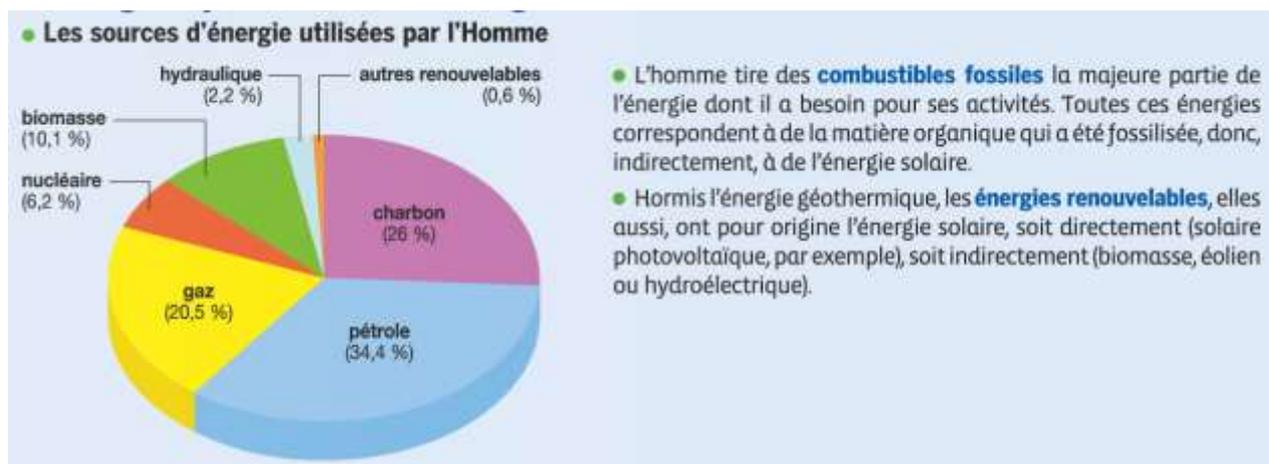
**En bleu** : Activités pratiques

**En vert** : Problématique et hypothèses

#### Introduction :

Sur Terre, deux sources d'énergies peuvent être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine : l'énergie solaire et l'énergie géothermique. Nous avons vu en seconde que l'énergie solaire est à la base de la chaîne alimentaire et également à l'origine des combustibles fossiles dont la production est extrêmement lente (millions d'années).

A l'inverse l'énergie thermique de la Terre contribue peu à la température de surface. Néanmoins, nous avons en 1ereS que l'énergie thermique est étroitement associée au mouvement du manteau et constitue le moteur de la tectonique des plaques. La géothermie pourrait-elle s'avérer utile à l'homme pour subvenir aux besoins des populations ?



#### Problématiques :

- D'où provient la chaleur terrestre et comment est-elle évacuée ?
- En quoi la géothermie est-elle un enjeu du développement durable ?

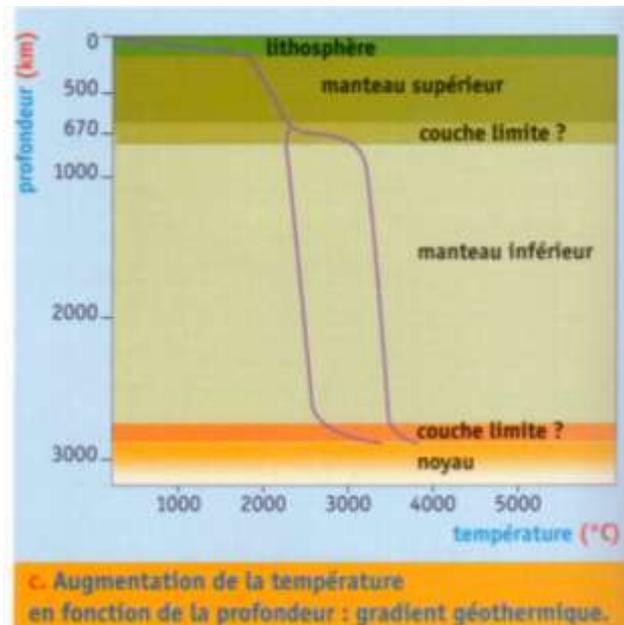
# I. Gradients et flux géothermiques

## 1- Des manifestations locales de l'énergie thermique terrestre

Le volcanisme, les sources d'eau chaude, les geysers ... sont autant de manifestations géologiques sont la conséquence de l'énergie interne de la Terre.

## 2- Gradients et flux géothermiques

Le gradient géothermique correspond aux variations de températures en fonction de la profondeur. Les mesures de températures dans les mines et les forages profonds montrent que la température augmente de 3°C tous les 100 mètres dans la croûte continentale. Ce gradient n'est pas aussi fort dans toutes les couches terrestres. Le gradient est également plus fort au niveau des zones actives du globe (dorsale voir 1S).



Le flux géothermique correspond à l'énergie dissipée par la surface terrestre. Il est mesuré en  $W/m^2$ . Cette grandeur mesure la dissipation de la chaleur par le globe. Il dépend du gradient géothermique mais également de la conductivité thermique des roches.

## 3- Energie thermique et contexte géodynamique

Le flux géothermique moyen est de l'ordre de  $87mW/m^2$  mais il est variable suivant le contexte géodynamique.

- faible sur les continents (30 km d'épaisseur de croûte)
- modéré dans les océans (6 à 8 km de croûte)
- élevé dans les zones volcaniques (200 à  $300mW/m^2$ ) : dorsales, volcans, points chauds ... Ex : Guadeloupe (doc 3 p 243), Parc de Yellowstone (doc 4 p243) ...
- modéré dans certains bassins sédimentaires, notamment dans les régions amincies (rifting et remontée du Moho vers la surface). Ex : cas du fossé Rhénan (Soultz sous Forêts).

## II. Origine de l'énergie thermique et sa dissipation dans le globe

### 1- L'origine de l'énergie thermique

La Terre émet  $4,2 \cdot 10^{13}$  Watts à sa surface. Cette chaleur de la Terre provient :

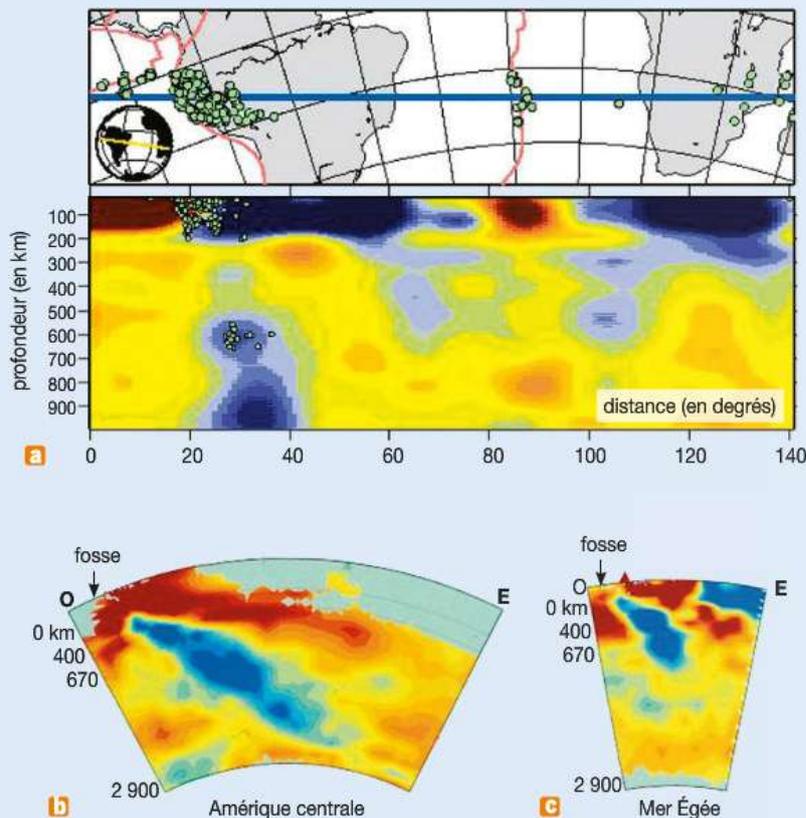
- de la désintégration des éléments radioactifs contenus dans les roches (90%) notamment l'uranium 235 et 238, le thorium 232 et le potassium 40. Les noyaux de ces atomes sont capables de se fragmenter spontanément (fission nucléaire) et produisent alors un rayonnement et de l'énergie thermique. Cette réaction a lieu dans l'ensemble du globe mais est plus particulièrement active dans la croûte terrestre.
- de la chaleur primitive issue de l'accrétion terrestre (10%)

### 2- Le transfert de l'énergie thermique dans le globe

L'énergie thermique est propagée par conduction et par convection :

- La conduction est un transfert de chaleur de proche en proche sans déplacement de matière. L'efficacité de ce transfert dépend du gradient géothermique (différence de température) et de la conductivité thermique des roches.
- La convection correspond à un transfert de chaleur par déplacement des matériaux dont la température varie peu. La matière chaude a généralement tendance à s'élever (densité plus faible) alors que la matière froide a tendance à descendre (densité plus forte). Ces échanges de matière ont été identifiés par tomographie sismique (voir 1S) et ont mis en évidence des flux de matière circulaires formant des cellules de convection. Ce transfert d'énergie est très efficace.

#### ● Des précisions apportées par la tomographie sismique



● La **tomographie sismique**, fondée sur la vitesse de propagation des ondes sismiques, permet de repérer, dans le globe terrestre, des **zones plus froides que la moyenne** (en bleu) et des **zones plus chaudes que la moyenne** (en rouge).

● Ces anomalies thermiques peuvent être mises en relation avec la **dynamique de la lithosphère** :

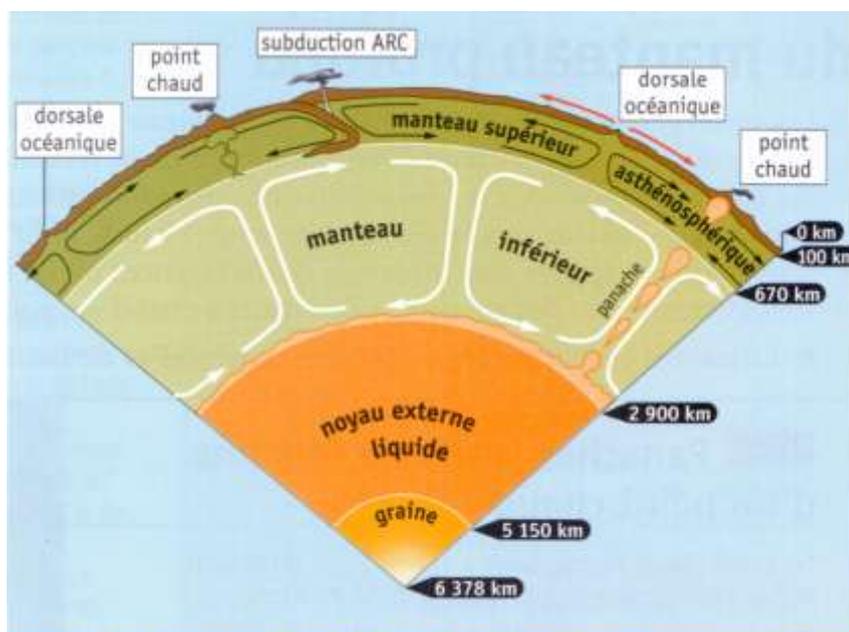
- une zone chaude suggère une **montée magmatique** près de la surface;
- une zone froide anormalement profonde suggère un enfoncement d'une plaque lithosphérique dans le manteau, c'est-à-dire une **zone de subduction**.

### 3- Vers un modèle global

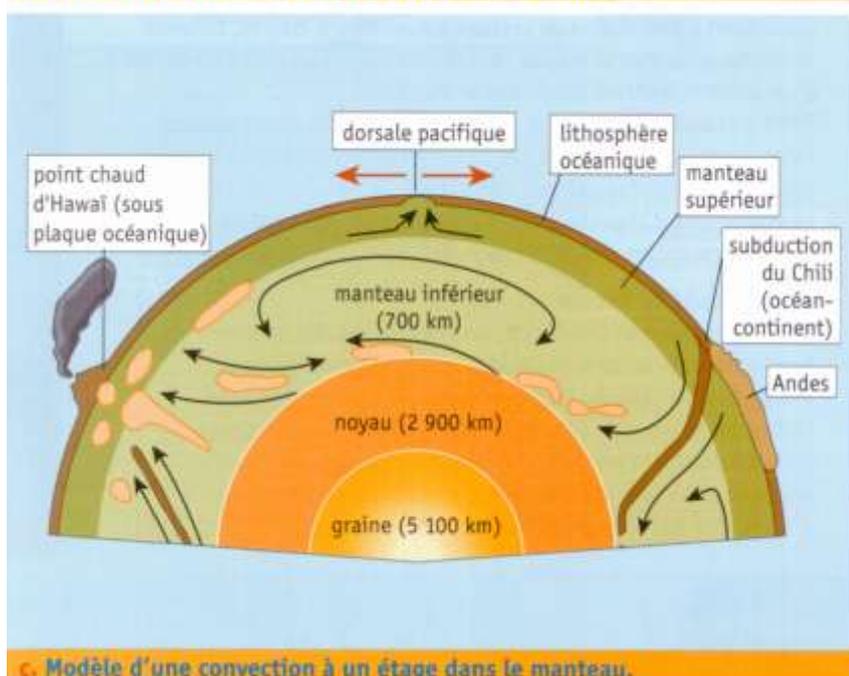
Ainsi, l'activité thermique de la Terre s'inscrit dans le processus de tectonique des plaques. Les conséquences de cette activité interne se manifestent en surface par :

- la production de lithosphère au niveau des remontées de matière dans les zones d'accrétion océanique (dorsales)
- la disparition de plaques lithosphériques couplées aux zones de subduction « froides »
- le couplage entre le mouvement des plaques et les mouvements de convection du manteau sous-jacent.

La chaleur terrestre se dissipe très progressivement. Elle est basée sur la désintégration d'atomes radioactifs dont l'activité perdurera encore plusieurs centaines de millions d'années (renouvelable à l'échelle humaine).



b. Modèle d'une convection à 2 étages dans le manteau.



c. Modèle d'une convection à un étage dans le manteau.

## III. La géothermie en France

### TP 1 : La géothermie

L'énergie géothermique chauffe les roches et les fluides qui peuvent y circuler. L'Homme peut alors réaliser des forages afin d'extraire les fluides présents dans les aquifères (nappes d'eau souterraine) et utiliser cette eau chaude pour le chauffage ou pour produire de l'électricité.

#### **1- Les différents types de géothermie**

##### a- La géothermie de très basse énergie

La géothermie de très basse énergie exploite des aquifères peu profonds dont les eaux ont une température inférieure à 30°C. Ceci permet de chauffer les habitations des particuliers et peut également servir de climatisation (on parle alors de pompe à chaleur).

##### b- La géothermie de basse énergie

Dans les bassins sédimentaires (Bassin Parisien ou aquitain), le gradient est proche de 30°C/km. On réalise des forages dans des couches situées entre 1500 et 2500 mètres de profondeur possédant des aquifères (ex : Dogger, sédiments du Jurassique). Les fluides extraits possèdent une température généralement inférieure à 90°C. L'utilisation est principalement destinée au chauffage collectif.

##### c- La géothermie profonde : Soultz sous Forêt

Dans des contextes de rifting (fossé rhénan), la remontée du Moho est associée à un gradient géothermique plus fort. Dans ce cas, les forages sont profonds (5000 mètres) et il n'est pas nécessaire de trouver des aquifères : l'eau est envoyée en profondeur puis est récupérée en surface. Les fluides prélevés ont une température de l'ordre de 200°C. En surface, ces fluides se vaporisent (diminution de la pression mais température constante). La vapeur produit entraîne des turbines qui permettent la production d'électricité.

##### d- La géothermie haute énergie

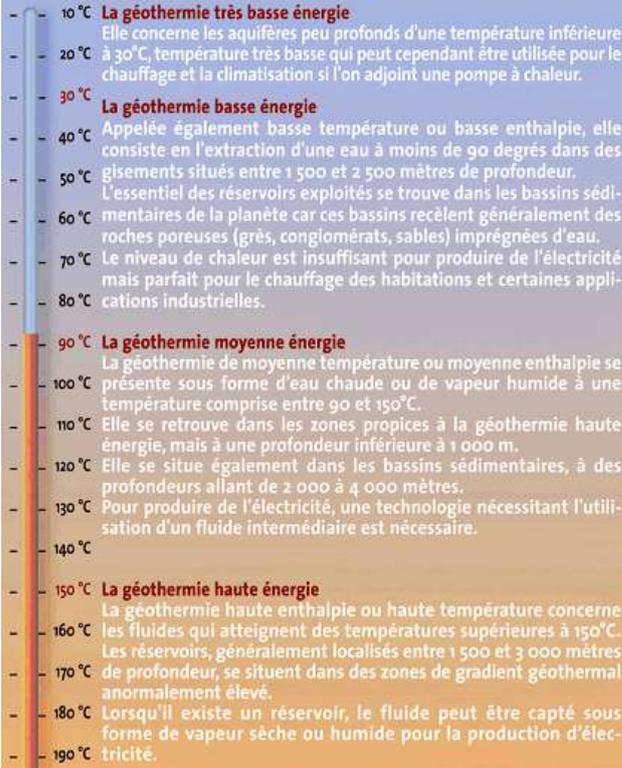
Dans les zones magmatiques (Antilles, Réunion), la remontée de magma est associée à un gradient géothermique très élevé. Les fluides prélevés ont une température de l'ordre de 250°C et permettent la production d'électricité.

#### **2- Le bilan géothermique en France et dans le monde**

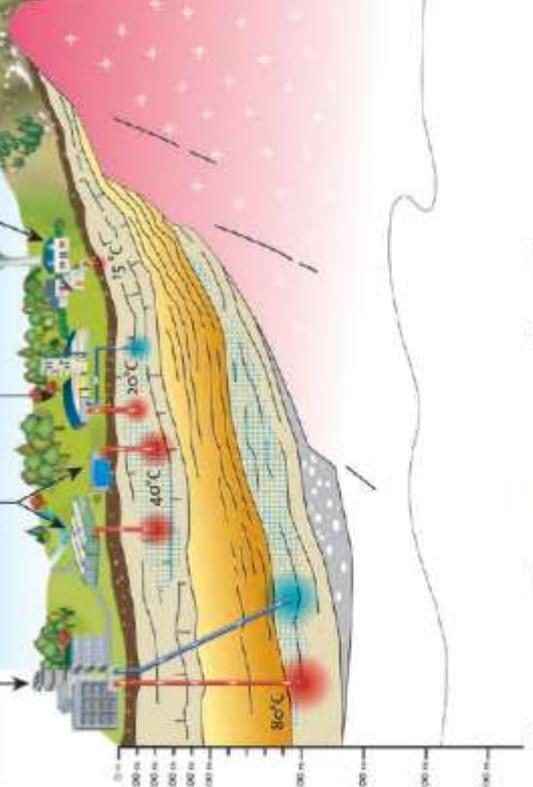
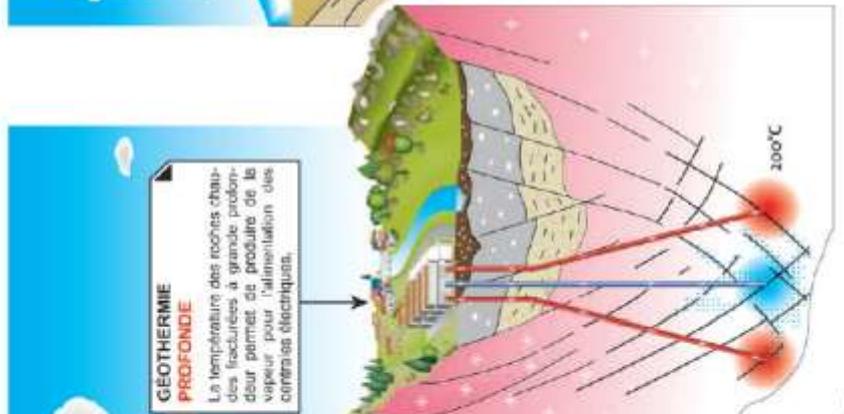
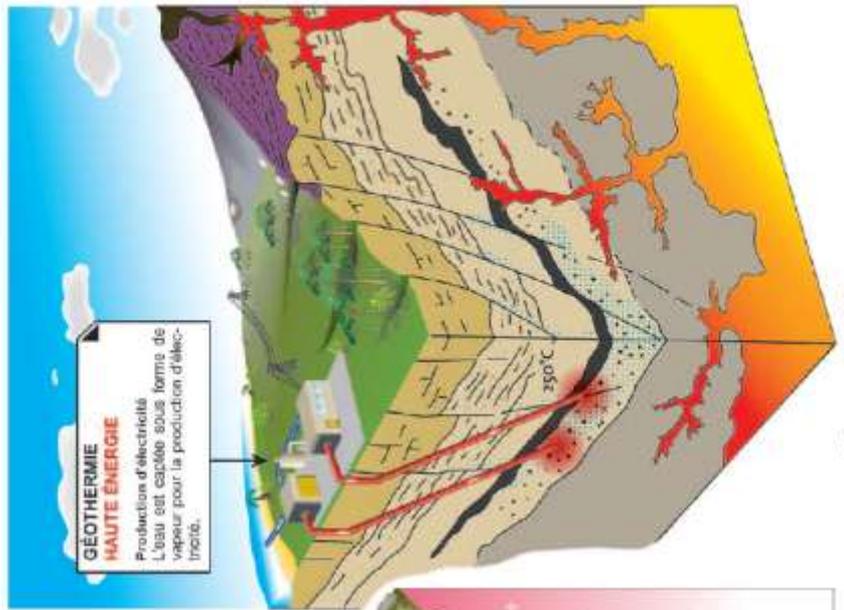
En France, on dénombre seulement 65 installations dédiées au chauffage urbain réalisées pour l'essentiel dans les années 1980. Elles assurent la couverture des besoins d'environ 200 000 équivalent-logements. La France possède un bon potentiel géothermique dans certaines régions, notamment les bassins sédimentaires, le fossé rhénan et le massif central mais il est encore très largement sous-exploité.

Dans le monde, on compte 350 centrales produisant de l'électricité, en particulier dans les zones de subduction. Cette production est de l'ordre de 50GW (Giga Watts), ce qui ne représente que 1% de la consommation énergétique mondiale.

## Les différents types de géothermie



La géothermie profonde des roches chaudes fracturées (**hot dry rock**) s'apparente à la création artificielle d'un gisement géothermique dans un massif cristallin. A trois, quatre ou cinq kilomètres de profondeur, de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Elle se réchauffe en circulant dans les failles et la vapeur qui s'en dégage est pompée jusqu'à un échangeur de chaleur permettant la production d'électricité. Plusieurs expérimentations de cette technique sont en cours dans le monde, notamment sur le site de Soultz-sous-Forêts en Alsace.



- Roche volcanique
- Charnière magmatique
- Précambrien
- Granite
- Grès
- Argile argamassable
- Calcaire
- Terrain superficiels