

Il existe, par exemple, en Islande, des **geysers**, de hydrothermalisme au niveau des fonds océaniques (350°C), et en France plus de 1200 sources thermales connues. Cela montre que contrairement à une idée répandue, le sous-sol n'est pas plus froid que la surface, au moins dans ces endroits de sources chaudes. Cette chaleur ne provient pas du soleil, mais a une origine interne.

Comment expliquer l'origine de cette chaleur interne de la planète Terre ?

I. Quelles sont les caractéristiques du flux géothermique ?

1. Définition flux géothermique

L'émission d'énergie interne est mise en évidence par les mesures du **flux de chaleur** à la surface de la Terre.

La température croît avec la profondeur (**gradient géothermique**). Le gradient géothermique a une valeur moyenne de 3 degrés pour 100 mètres. Le flux géothermique correspond à une certaine quantité d'énergie libérée à la surface du globe : il s'exprime en $W.m^{-2}$ et dépend du gradient géothermique et de la conductivité thermique des roches du sous-sol. Un flux géothermique atteint la surface en provenance des profondeurs de la Terre.

2. Origine du flux géothermique.

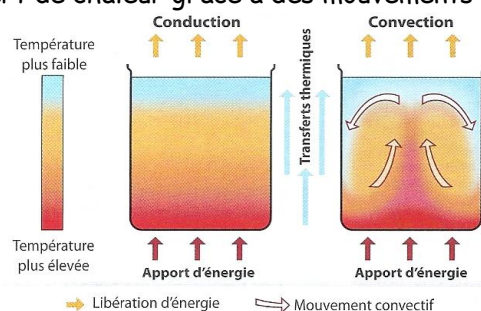
Le **flux géothermique** a pour origine essentielle la radioactivité. Les enveloppes du globe contiennent des éléments radioactifs tels que l'uranium et le thorium. Leur **désintégration** donne d'autres éléments chimiques et de l'énergie (thermique). Par son volume, le manteau est le principal générateur d'énergie radioactive (bien que relativement pauvre en éléments radioactifs par rapport à la croûte continentale). Il libère à lui seul 70% de la libération totale d'énergie d'origine radioactive). **Réaction à savoir.**

3. Le transfert de l'énergie thermique créée.

La distribution du flux de chaleur n'étant pas homogène, son organisation (zones à flux très élevé et zones à flux faible) induit l'hypothèse d'un mécanisme dynamique interne à l'origine de la dissipation de chaleur à l'intérieur de la Terre.

La chaleur produite dans les enveloppes internes du globe arrive en surface grâce à deux processus physiques :

- La **conduction** est le transfert de chaleur par contact direct sans mouvement de matière : la chaleur traverse les roches de proche en proche. Cependant, les roches sont de mauvais conducteurs de chaleur.
- La **convection** est le transfert de chaleur grâce à des mouvements de matière.



Le transfert thermique dans la géosphère se fait par **conduction** essentiellement dans les zones où il y a un changement de la composition chimique (aux interfaces noyau-manteau, manteau-croûte, croûte-atmosphère ou hydrosphère) et au niveau de la lithosphère rigide (enveloppe globalement conductive bien que des circulations hydrothermales puissent y être responsables de transferts convectifs locaux).

Les roches du manteau de l'asthénosphère, mauvaises conductrices de la chaleur, sont à l'état solide et ont un comportement plastique (ductile) qui permet les déplacements de matière. La chaleur interne est ainsi dissipée par **convection**, mécanisme beaucoup plus **efficace**, qui correspond à un transfert de chaleur par mouvements de matière au niveau du manteau (comportement convectif du manteau). Ces mouvements de convection assurent le transport de la chaleur et sa dissipation en surface.

II. Comment se répartit le flux thermique ?

Gradients et flux varient selon le contexte géodynamique. A l'échelle globale, le flux fort (anomalies positives du flux thermique) dans les dorsales est associé à la production de lithosphère nouvelle (hydrothermalisme océanique joue un rôle prépondérant dans ce transfert thermique) : au contraire, les zones de subduction présentent un flux faible (anomalies négatives du flux thermique) associé au plongement de la lithosphère âgée devenue dense.

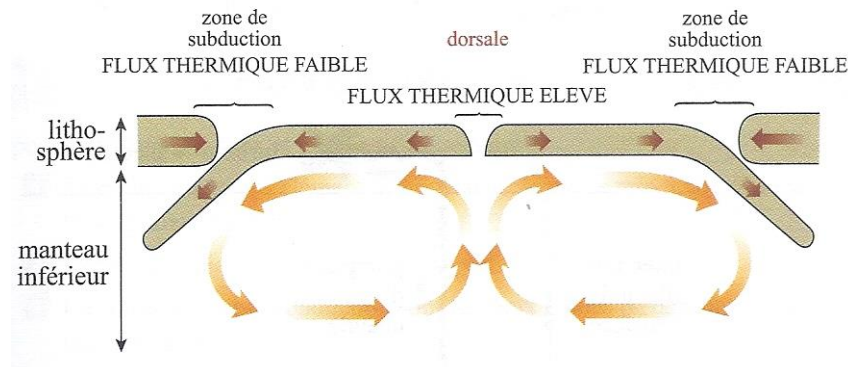
Cette inégale répartition du flux est un argument en faveur des mouvements de convection des roches. La convection concerne les roches du manteau ductile situé sous la lithosphère. La lithosphère plongeant au niveau des zones de subduction du fait de sa densité apporte du matériel froid dans le manteau, vraisemblablement jusqu'à la limite manteau-noyau. Du matériel mantellique chaud d'origine plus superficielle monte au niveau des dorsales. Des endroits très localisés à l'échelle du globe, les points chauds, correspondent à la montée de matériel chaud depuis la limite entre le manteau et le noyau, appelée couche d".

Les conséquences des mouvements de roches du manteau sont multiples :

- La remontée de matériel asthénosphérique au niveau des dorsales océaniques a pour conséquence des anomalies positives du flux thermique.
- La descente de matériel au niveau des zones de subduction a pour conséquence des anomalies négatives du flux thermique. Le flux y est quasiment nul.
- Les mouvements horizontaux des plaques lithosphériques.

Les anomalies du flux thermique sont les écarts (positifs ou négatifs) entre la valeur moyenne de flux et la valeur réellement mesurée.

Les plaques les plus rapides (plaque Pacifique/Indo-australienne, Nazca) sont celles qui ont des frontières en subduction, ce qui permet de penser que la traction exercée par le prolongement de la lithosphère froide est la force motrice principale d'une cellule de convection et que ce n'est pas la poussée au niveau des dorsales.



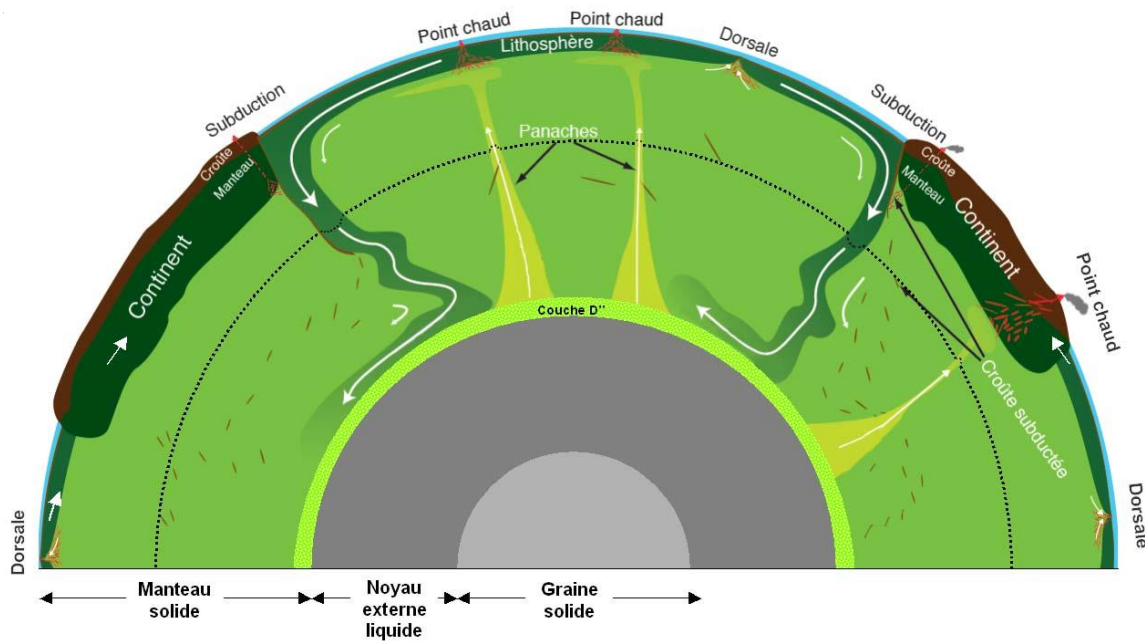
La compréhension du transfert thermique dans la Terre permet donc de compléter le **modèle de tectonique globale** en y faisant figurer la **convection mantellique**.

La tomographie sismique de la Terre permet de confirmer les différents modèles de convection à l'intérieur du manteau:

- Des zones froides descendantes à l'aplomb des zones de subduction.
- les panaches mantelliques (points chauds) qui ramènent des matériaux profonds vers la surface prenant naissance à l'interface manteau/noyau.
- Des zones chaudes ascendantes à l'aplomb des dorsales faiblement enracinées.

Les déplacements verticaux (subduction et panaches) sont plus importants que les déplacements horizontaux (expansion océanique et collision par exemple). La subduction est donc un phénomène de premier ordre pour la géodynamique de la Terre.

La Terre se comporte comme une **machine thermique**, c'est-à-dire comme un dispositif permettant le passage d'énergie.



Modèle simplifié montrant l'importance des subductions par rapport aux dorsales dans le déplacement des plaques. **A retenir**

Rappel chapitre 2 : les mouvements descendants sont rapides et de grande ampleur comparés aux mouvements ascendants du manteau sous les dorsales qui sont superficiels et lents. La gravité est donc le moteur essentiel de la tectonique des plaques. **Le déplacement des plaques lithosphériques à la surface du globe résulte surtout de la traction exercée par le poids des lithosphères en subduction.**

III. Comment l'Homme utilise-t-il l'énergie géothermique ?

Le flux géothermique qui traverse la lithosphère en provenance de l'intérieur de la Terre est une ressource énergétique utilisable par l'Homme. **L'énergie géothermique** utilisable par l'homme est variable d'un endroit à l'autre. Des exploitations géothermiques sont implantées à proximité :

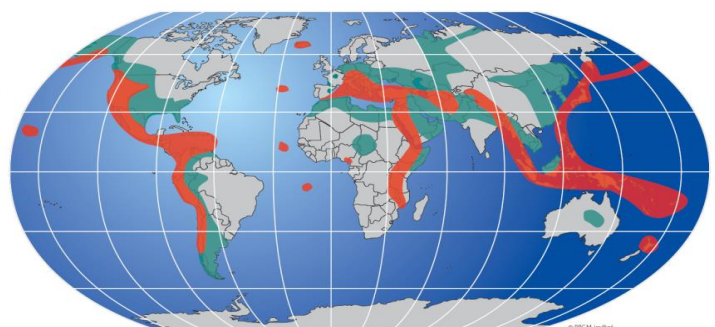
- de dorsales (Islande),
- de subductions (arcs volcaniques Guadeloupe, Japon, Philippines...),
- de points chauds (Hawaii...).

Les roches de l'écorce terrestre sont réchauffées en permanence du fait du transfert thermique dont elles sont l'objet. L'eau qui s'infiltre et circule en profondeur au contact de ces roches se réchauffe et peut être exploitée via des forages pour la production d'électricité et le chauffage domestique.

Les remontées asthénosphériques au niveau des dorsales ainsi que au niveau des points chauds véhiculent vers la surface de l'énergie interne ce qui explique le flux géothermique très élevé et ainsi le fort potentiel de production d'électricité par la géothermie haute énergie. Les zones de subduction sont également à fort potentiel par les fluides qui circulent dans des roches fracturées au contact de réservoirs magmatiques créant aussi un flux géothermique très élevé. Cependant, la géothermie a connu ces dernières années un développement dans d'autres zones où le flux de chaleur est plus faible, tels que des bassins sédimentaires.

Les plus grandes usines géothermiques :

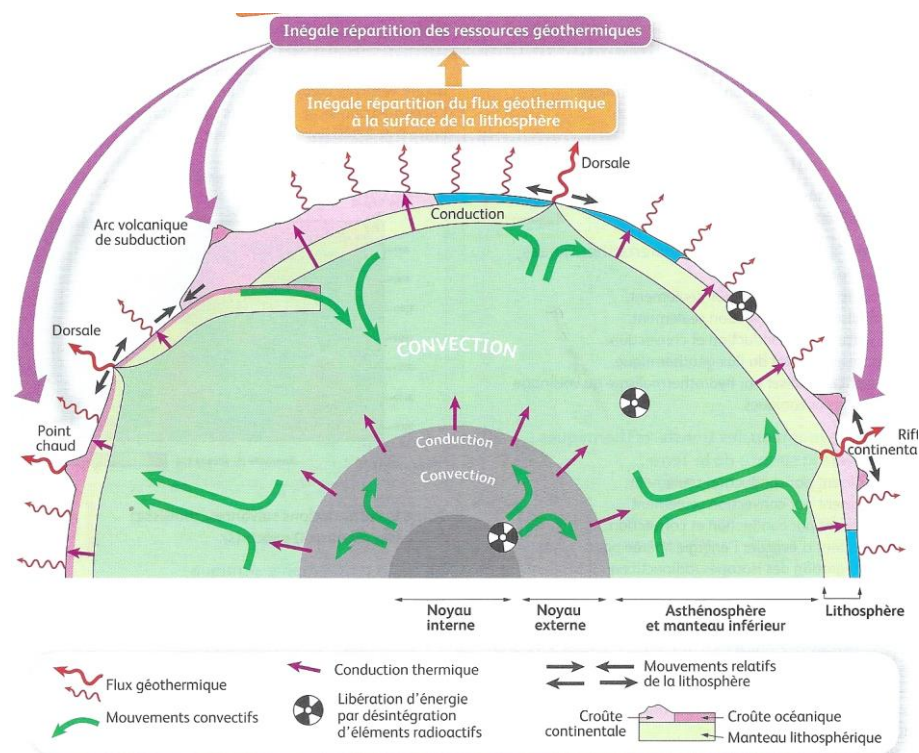
- Zones de subduction : Nouvelle Zélande, Philippines, Japon (ceinture feu Pacifique).
- Zones de dorsale : Islande.
- Points chauds : Yellowstone Etats-Unis.



Le Bassin parisien (bassin sédimentaire profond) présente un flux géothermique très élevé alors que le gradient n'est que moyen. Ceci est dû à l'existence de grandes nappes **aquifères**, l'eau ayant une importante conductivité thermique. Le flux géothermique élevé dans les massifs récents peut quant à lui s'expliquer par la présence de failles augmentant la conductivité thermique par la circulation de fluides. En métropole (mis à part le site de Soultz) seules les ressources géothermiques très basse et basse énergie sont exploitées.

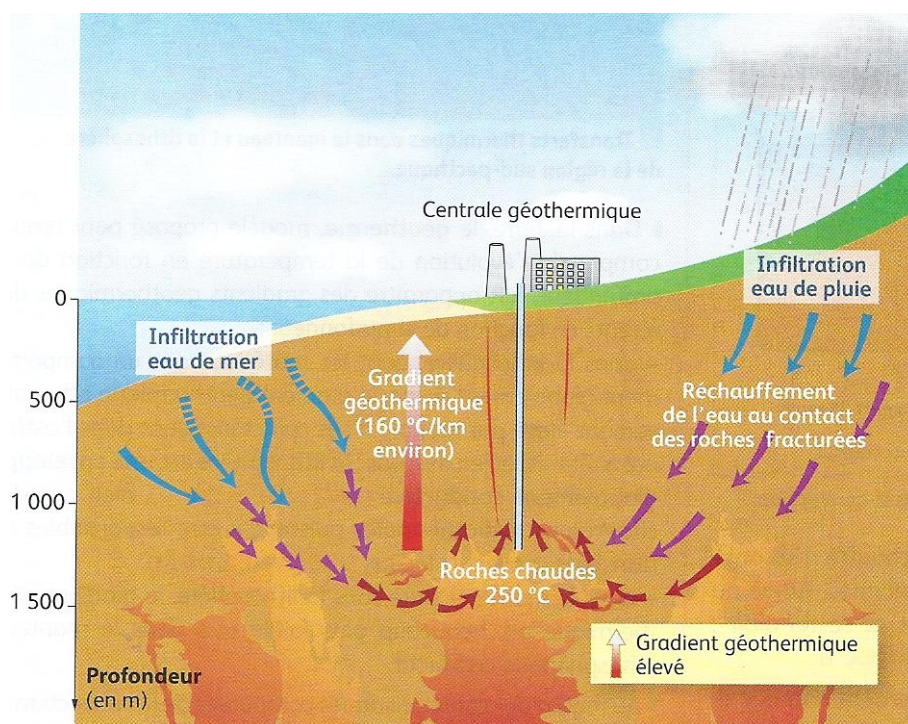
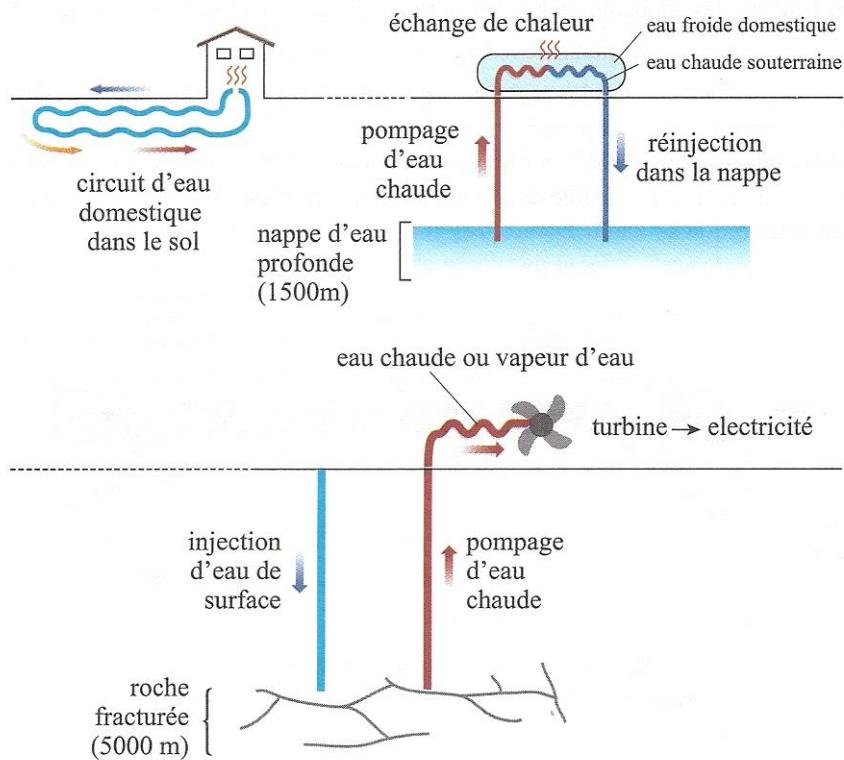
Contrairement aux énergies fossiles, la ressource géothermique est considérée comme illimitée et se trouve potentiellement partout puisqu'elle repose sur le flux thermique terrestre. Le prélèvement éventuel d'énergie par l'homme ne représente qu'une infime partie de ce qui est dissipé.

La température croît avec la profondeur (gradient géothermique); un flux thermique atteint la surface en provenance des profondeurs de la Terre (flux géothermique). Gradients et flux varient selon le contexte géodynamique. Le flux thermique a pour origine principale la désintégration des substances radioactives contenues dans les roches. Deux mécanismes de transfert thermique existent dans la Terre: la convection et la conduction. Le transfert par convection est beaucoup plus efficace. À l'échelle globale, le flux fort dans les dorsales est associé à la production de lithosphère nouvelle; au contraire, les zones de subduction présentent un flux faible associé au plongement de la lithosphère âgée devenue dense. La Terre est une machine thermique. L'énergie géothermique utilisable par l'Homme est variable d'un endroit à l'autre. Le prélèvement éventuel d'énergie par l'Homme ne représente qu'une infime partie de ce qui est dissipé.



L'énergie géothermique représente pour l'Homme une source de chaleur directe par récupération d'eau provenant de forages. Elle peut également être une source de chaleur indirecte si on utilise la chaleur du sous-sol pour chauffer les fluides qui sont ensuite récupérés. En fonction de la profondeur atteinte, l'eau a une température plus ou moins importante : environ 15°C pour les canalisations superficielles à usage domestique, jusqu'à 250°C pour les forages les plus profonds. Ainsi, l'eau chaude des nappes profondes (au-delà de 1500 mètres, l'eau atteint 65°C) est utilisée dans des échangeurs pour chauffer de l'eau domestique. La technique d'injection d'eau de surface dans des roches fissurées est appliquée en Alsace à Soultz la forêt : l'eau à température ambiante est injectée par un puits jusqu'à 5000 mètres puis récupérée chauffée à 200 degrés environ. L'objectif est d'obtenir de la vapeur d'eau pouvant faire tourner des turbines et produire de l'électricité. Schémas ci-dessous.

Différents modes d'utilisation de l'énergie géothermique



*Caractéristiques géologiques locales et exploitation géothermique
de « haute énergie » sur le site de Bouillante (Guadeloupe)*