

GÉOTHERMIE ET PROPRIÉTÉS THERMIQUES DE LA TERRE

L'homme a toujours su profiter de l'énergie interne de la terre dont les geysers, les sources chaudes et les éruptions volcaniques lui manifestent l'existence. Cependant, cette source d'énergie a longtemps été délaissée au profit d'énergies plus facilement exploitables (charbon, pétrole). Aujourd'hui, l'épuisement programmé des réserves d'énergies fossiles, la nécessité de préserver l'environnement et le réchauffement climatique dû à l'effet de serre imposent de développer davantage les énergies renouvelables telles que la géothermie.

Comment exploite-t-on l'énergie géothermique ?

I: Ressources géothermiques et contextes géodynamiques

La connaissance du flux géothermique d'une région et du contexte géologique local permet d'établir s'il est possible de récupérer de l'énergie thermique profonde.

***Gradient géothermique:** On nomme gradient géothermique l'augmentation de température constatée dans le sous-sol à mesure que l'on s'éloigne de la surface. Le gradient moyen en Europe est d'environ 1°C tous les 30 mètres, soit 3.3°C tous les 100 mètres*

***Flux géothermique:** On nomme Flux géothermique la quantité d'énergie thermique traversant une unité de surface par unité de temps (en Watt.m⁻² ou J.s⁻¹.m⁻²)*

Le flux géothermique conditionne l'exploitation de l'énergie du sous-sol. Sa valeur, inégale d'un lieu à un autre, dépend de la conductivité thermique des roches, mais aussi du gradient géothermique. Les principaux contextes géologiques propices à la production d'électricité géothermique sont les zones à fort flux géothermique (et à fort gradient géothermique):

- Dans un contexte tectonique divergeant:
 - Au niveau des dorsales (magmatisme d'accrétion)
 - Au niveau des rifts continentaux (magmatisme de rifting et / ou remonté des isothermes due à l'amincissement crustal)
- Dans un contexte tectonique convergeant: Au niveau des arcs volcaniques des zones de subduction (magmatisme de subduction)
- Dans un contexte tectonique stable: Au niveau du magmatisme intra-plaque: volcanisme de points chauds

II: Origine du flux géothermique et transfert d'énergie

Par endroits, le flux géothermique très élevé traduit un transfert important d'énergie thermique d'origine profonde vers la surface.

A: Origine de l'énergie thermique interne de notre planète

1: L'énergie thermique primitive

Lors de l'accrétion de notre planète, de l'énergie a été stockée à l'intérieur de la Terre sous forme d'énergie thermique (énergie thermique primitive). Il est difficile de quantifier cette énergie thermique primitive dans le flux global mais certains scientifiques l'estiment à environ 1×10^{13} W.

2: L'énergie thermique latente

Notre planète possède un noyau interne solide (graine) et externe liquide. Le noyau est pour l'essentiel composé de Fer et un peu de Nickel avec, peut-être quelques éléments plus rares et plus légers (Si ; O ; S)

La cristallisation du fer liquide [le noyau solide (graine) grandit au dépend du noyau liquide], à la limite graine-noyau externe, libérerait de l'énergie (réaction exo-énergétique). Cette énergie serait à l'origine de mouvements de convection dans le noyau liquide (eux mêmes à l'origine du magnétisme terrestre).

3: L'énergie thermique provenant de la désintégration d'éléments radio actifs

Lors de l'accrétion de notre planète, il y environ 4.55 Milliards d'années, la Terre a accumulé des éléments radioactifs. La désintégration radioactive de certains de ces éléments se traduit par la production d'énergie sous forme d'énergie thermique. Trois éléments radioactifs (isotopes instables) sont particulièrement impliqués dans cette production d'énergie thermique:

- l'Uranium (²³⁵U et ²³⁸U) se désintégrant respectivement en ²⁰⁷Pb et ²⁰⁶Pb
- le Thorium (²³²Th) se désintégrant en ²⁰⁸Pb
- le Potassium (⁴⁰K) se désintégrant en ⁴⁰Ca.

Un tiers de l'énergie thermique serait produite par la croûte terrestre et plus particulièrement par la croûte continentale (La croûte terrestre a une concentration en éléments radioactifs plus élevée que la concentration du manteau). Deux tiers de l'énergie thermique seraient produits par le manteau (la pauvreté relative du manteau en éléments radioactifs est largement compensée par son volume). On estime à $3,2.10^{13}$ W la puissance dissipée en énergie thermique par la désintégration de ces 3 isotopes.

L'essentiel de l'énergie thermique produite par notre planète provient donc de l'énergie thermique primitive et de la désintégration d'éléments radioactifs.

B: Dissipation de l'énergie thermique interne de notre planète

Le gradient géothermique n'est pas régulier à l'intérieur de la terre:

- Quand le gradient géothermique est élevé (forte variation de la température en fonction de la profondeur) cela indique que la température est transférée de manière peu efficace (exemple de la lithosphère)
- Quand le gradient géothermique est plus faible (variation de la température plus faible pour une même différence de profondeur) cela indique que la température est mieux transférée (exemple du manteau)

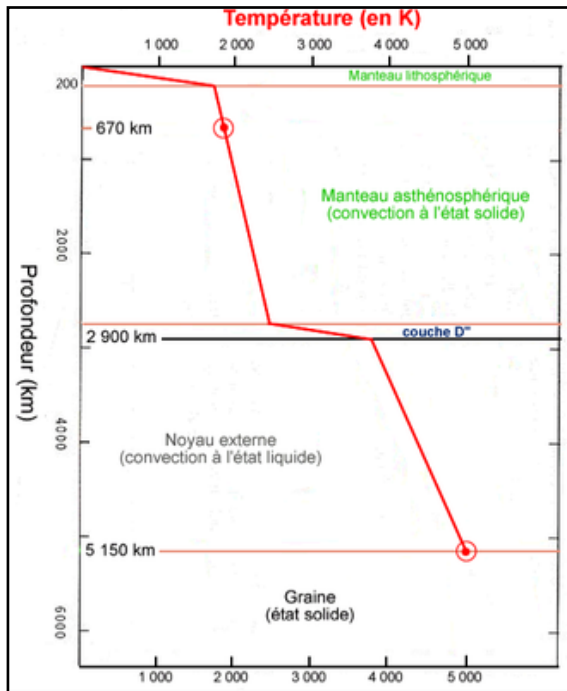
Notre planète dissipe son énergie interne à la surface du globe terrestre (flux géothermique). L'étude du gradient géothermique et du flux géothermique nous montre qu'il existe très probablement au moins 2 modes de transmission de l'énergie interne de notre planète vers la surface:

1: La conduction est un mode de transfert d'énergie **peu efficace**, sans mouvement de matière: l'énergie se déplace des parties chaudes vers les parties froides par conduction thermique. (comme on l'observe dans un fluide chauffé par son sommet)

2: La convection est un transfert d'énergie **très efficace** qui implique des mouvements de matière: La matière située en profondeur, très chaude, moins dense et donc plus légère s'élève. En surface, elle s'étale latéralement et se refroidit. Devenue plus dense, elle redescend et plonge en profondeur. (L'ensemble formant une cellule de convection)

L'énergie est transportée des parties chaudes, profondes, vers les parties froides de la surface. (comme on l'observe dans un fluide chauffé par sa base)

3: La terre, machine thermique



Dans la lithosphère (rigide et cassante) le gradient géothermique est relativement élevé; cela traduit un transfert d'énergie peu efficace, par conduction. (Des circulations hydrothermales peuvent cependant être responsables de transferts convectifs locaux).

Dans l'asthénosphère et le manteau inférieur (ductile et plastique), le gradient géothermique est faible; cela traduit un transfert d'énergie efficace, par convection (à l'état solide)

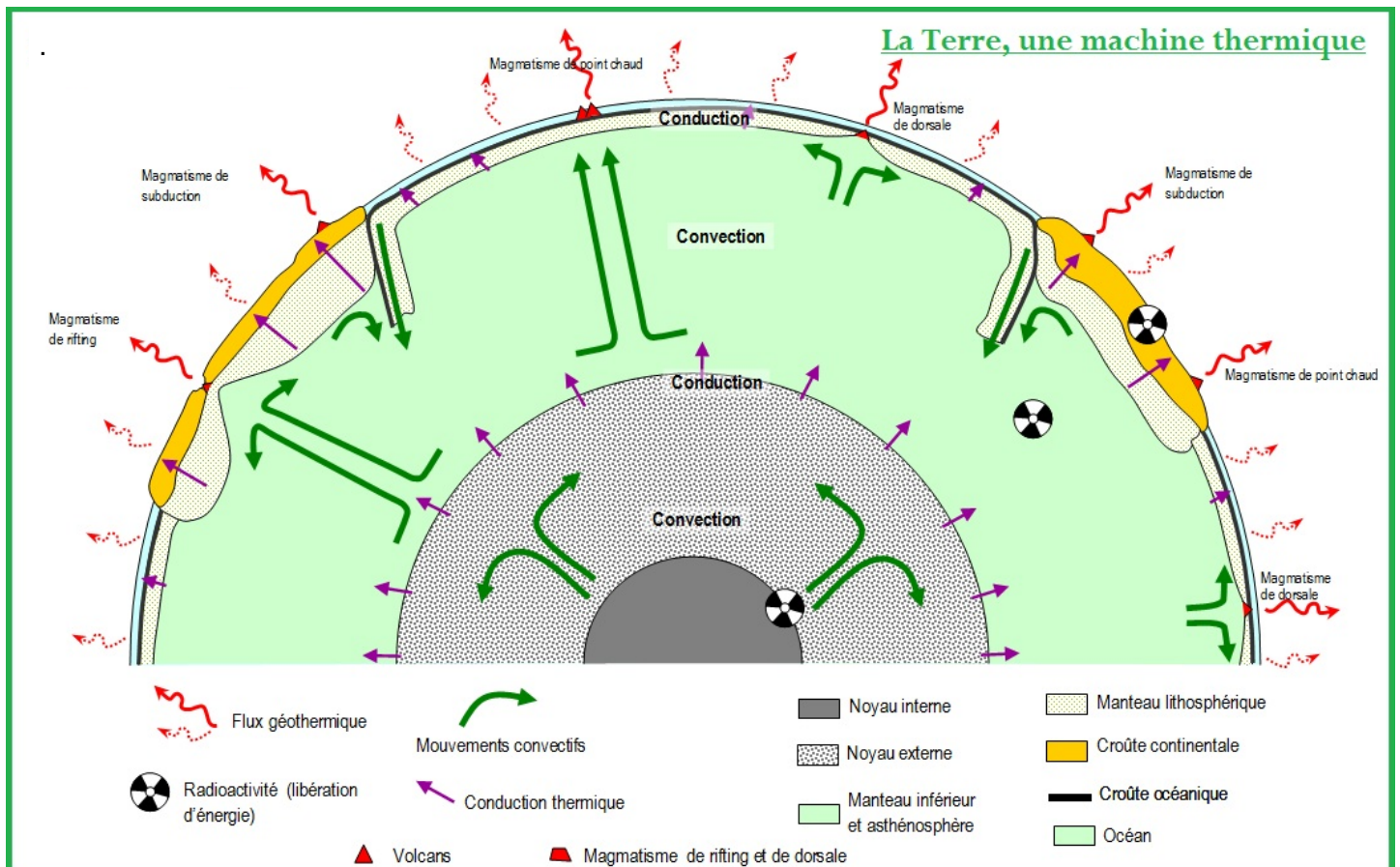
Les mouvements de convection mantelliques rendent compte des mouvements des plaques lithosphériques:

- Les courants ascendants de convection sont à l'origine du magmatisme d'accrétion océanique au niveau des dorsales.
- Les courants descendants de matériel froid sont liés à la plongée des plaques lithosphériques dans le manteau au niveau des zones de subduction
- Les mouvements horizontaux superficiels du manteau sont les moteurs du déplacement des plaques lithosphériques

Dans la couche D'' le gradient géothermique est relativement élevé; il s'agit d'un transfert d'énergie peu efficace, par conduction.

Dans le noyau externe (liquide), le gradient géothermique est faible; cela traduit un transfert d'énergie efficace, par convection (à l'état liquide).

Schéma bilan:



Conclusion: L'exploitation de l'énergie géothermique

L'énergie géothermique est une ressource renouvelable à l'échelle humaine. Elle permet, selon la profondeur et les moyens, d'assurer le chauffage individuel ou collectif, ou la production d'électricité. Plus on se trouve proche de la surface, plus la ressource est facile à évaluer et à exploiter; mais son potentiel est généralement limité, car la température pas très élevée ne permet pas la production d'électricité. Plus on s'intéresse à des ressources profondes, plus on s'éloigne des certitudes; mais avec une espérance de puissance thermique plus élevée pouvant ainsi permettre la production d'électricité.

L'énergie géothermique utilisée par l'homme est très faible relativement à la ressource disponible. L'accès difficile aux zones à forts flux géothermiques (dorsale située sous l'océan, instabilité géologique des zones de subduction...) ne facilitent pas le développement de la géothermie. La raréfaction des énergies fossiles, et les problèmes écologiques liés à leur utilisation, devraient conduire à une exploitation accrue des énergies renouvelables telles que la géothermie.