

Chapitre 1 : La géothermie et les propriétés thermiques de la Terre

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 vu en 1^{ère} S 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 ?

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

I/ Étude d'un exemple : exploitations géothermiques et contextes géodynamiques

TP 22 : La géothermie – exploitation actuelle dans une zone de subduction ou de rifting

Compléter avec les mots suivants :

Continents- élevé- géodynamique- température- océans-bassins sédimentaires

Le Gradient géothermique ou accroissement de la température avec la profondeur varie avec:

- La composition chimique des roches (proportion en éléments radioactifs),
- Le contexte géodynamique,
- La convection, si présence d'eau.
- La variation de conductivité thermique (capacité à transférer la chaleur par conduction thermique) des couches sédimentaires.

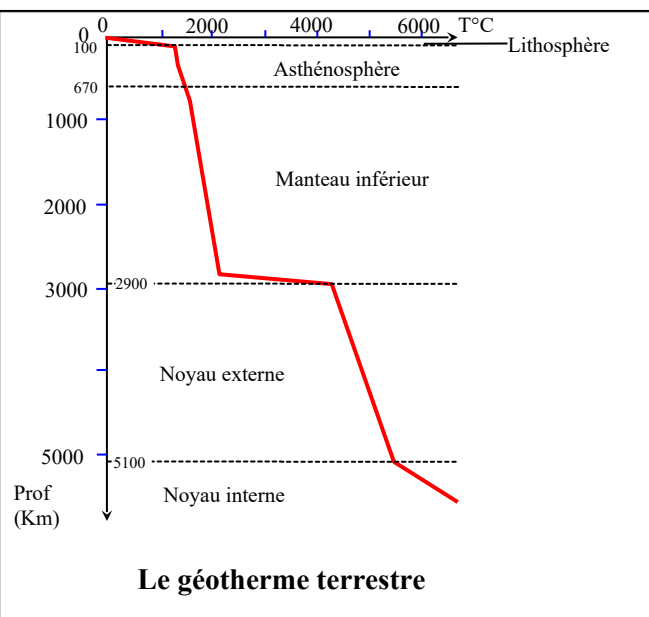
Il est en moyenne de 31°C/km en France (110°C/km dans le 1^{er} km en Alsace, mais 12°C/km dans la région de Rennes).

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 (dorsales, voir 1^{ère} S).

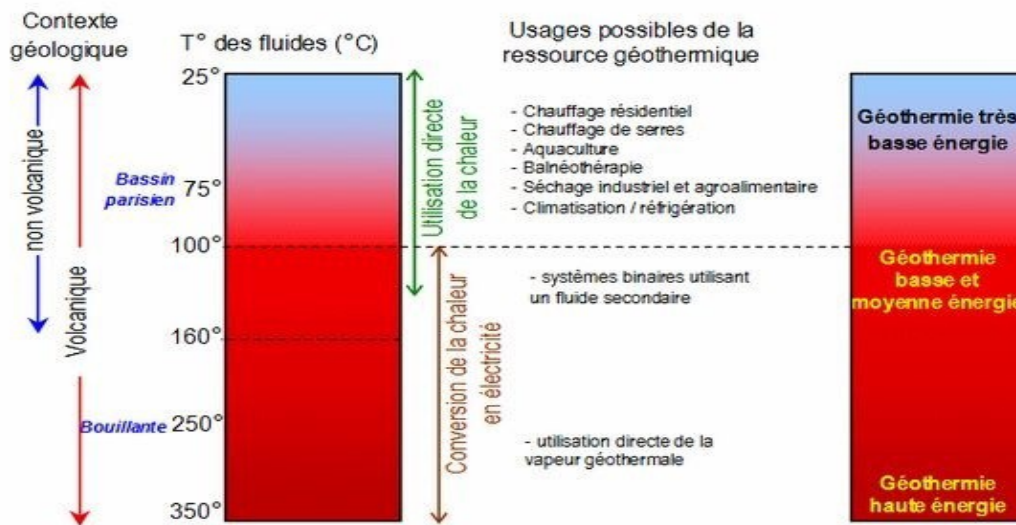


Le Flux géothermique ou flux de chaleur est la quantité d'énergie évacuée par la Terre, exprimée par unité de surface et par unité de temps.

Le flux moyen est de 65 mW.m^{-2} à la surface des continents et de 101 mW.m^{-2} à la surface du plancher des océans soit 87 mW.m^{-2} pour l'ensemble du globe (Pollack et al, 1993)

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.....

Géothermie : principaux usages en fonction du contexte géologique
D'après BRGM -EDF



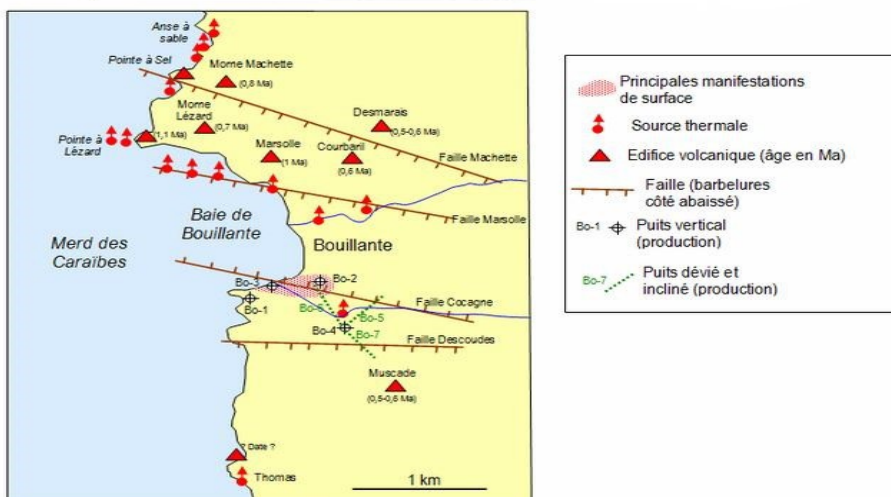
Ce flux géothermique est :

- faible sur les (30 km d'épaisseur de croûte)
- modéré dans les (6 à 8 km de croûte) : le long des dorsales il est le plus fort. L'hydrothermalisme océanique joue un rôle prépondérant dans ce transfert thermique.
- dans les zones volcaniques ($200 \text{ à } 300 \text{ mW/m}^2$) : dorsales, volcans, points chauds ...

Ex : Guadeloupe (zone de subduction)

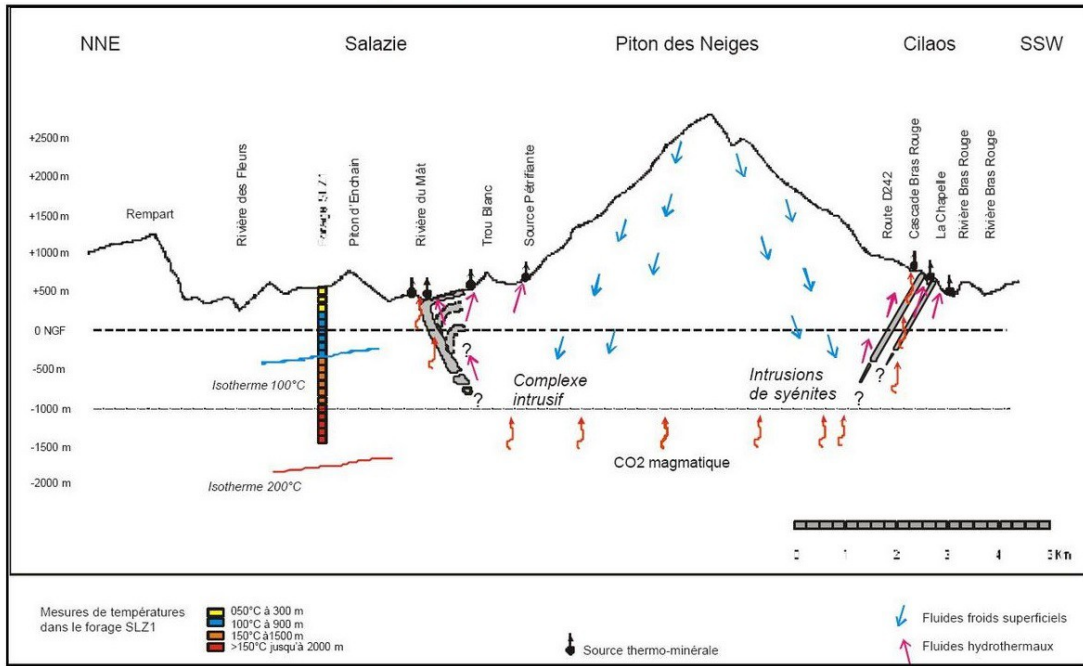
Bouillante (Guadeloupe) Cadre volcano-tectonique local

D'après étude BRGM reprise dans <http://unt.unice.fr/uved/bouillante/cours/ii.-etude-de-cas-la-centrale-geothermique-de-bouillante-en-guadeloupe/>



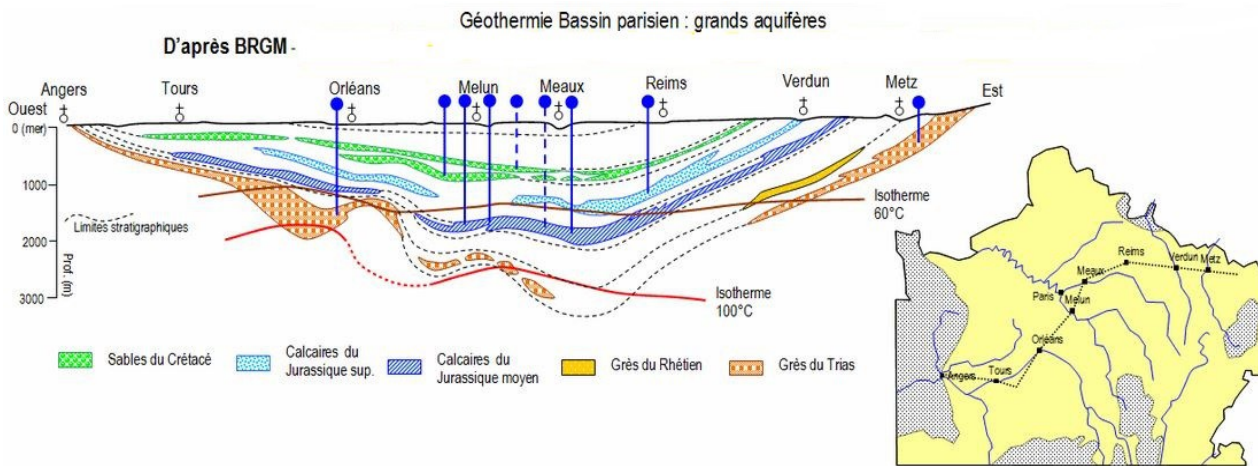
La Réunion (point chaud)

Projet de géothermie à la Réunion



- modéré dans certains

En France, il existe deux lieux où l'accumulation de sédiments est importante jusqu'à 3000 m d'épaisseur : dans le Bassin Parisien et dans le Bassin Aquitain. La température peut y atteindre 65 °C.

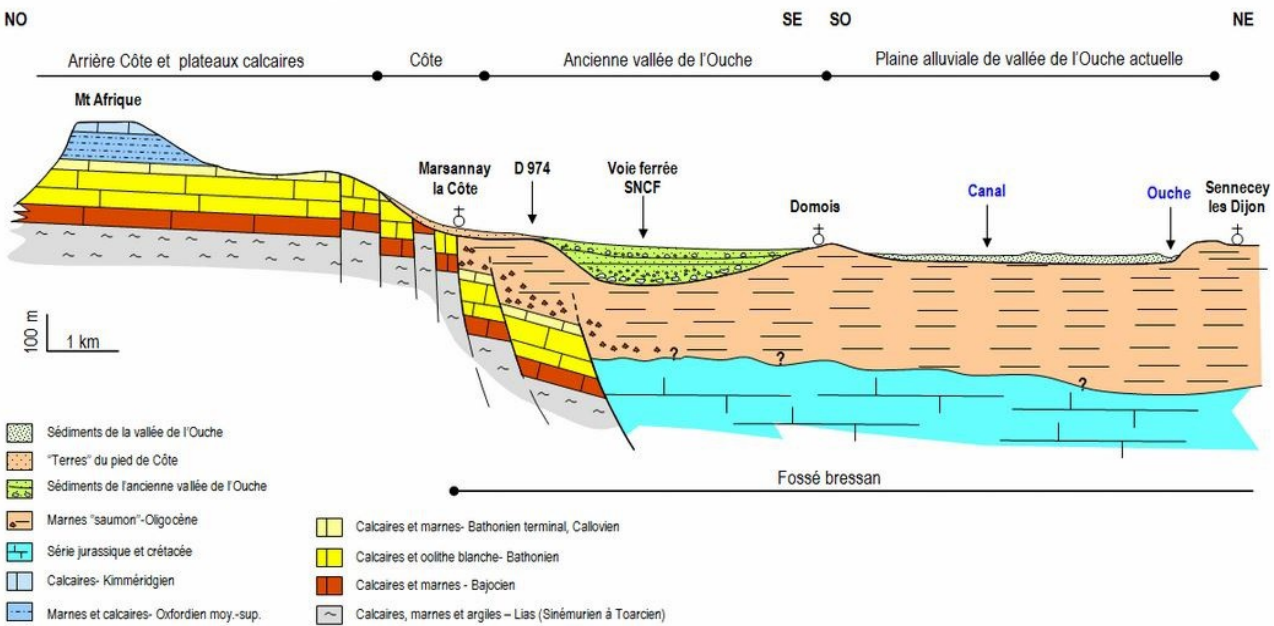


et dans les régions amincies (rifting et remontée du Moho vers la surface).

Ex : cas du fossé Bressan.

On constate que dans ces zones, le Moho est peu profond. Cela signifie que localement il y a une remontée de l'asthénosphère. A 1km de profondeur, la température de l'eau est très chaude alors qu'à Marseille, il faut atteindre 5km de profondeur pour avoir les mêmes températures.

Fossé d'effondrement : au sud de Dijon, le fossé bressan, la Côte et le Mont Afrique
Modifié d'après schéma page 20 du fascicule « Journée d'étude sur l'eau. 28-02-1990- conseil général de Côte d'Or »



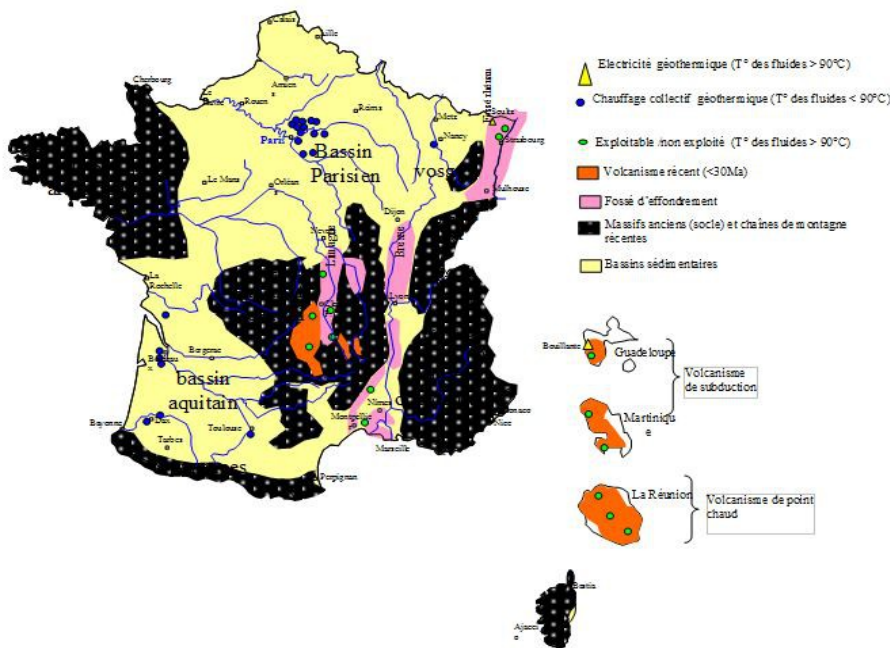
Ainsi dans l'écorce terrestre, la augmente avec la profondeur suivant un gradient géothermique. Ce gradient est variable d'une région géologique à une autre. L'homme extrait ces fluides pour exploiter cette énergie.

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.

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

Cadre géologique simplifié des ressources géothermiques en France et potentiel de développement



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.

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 :

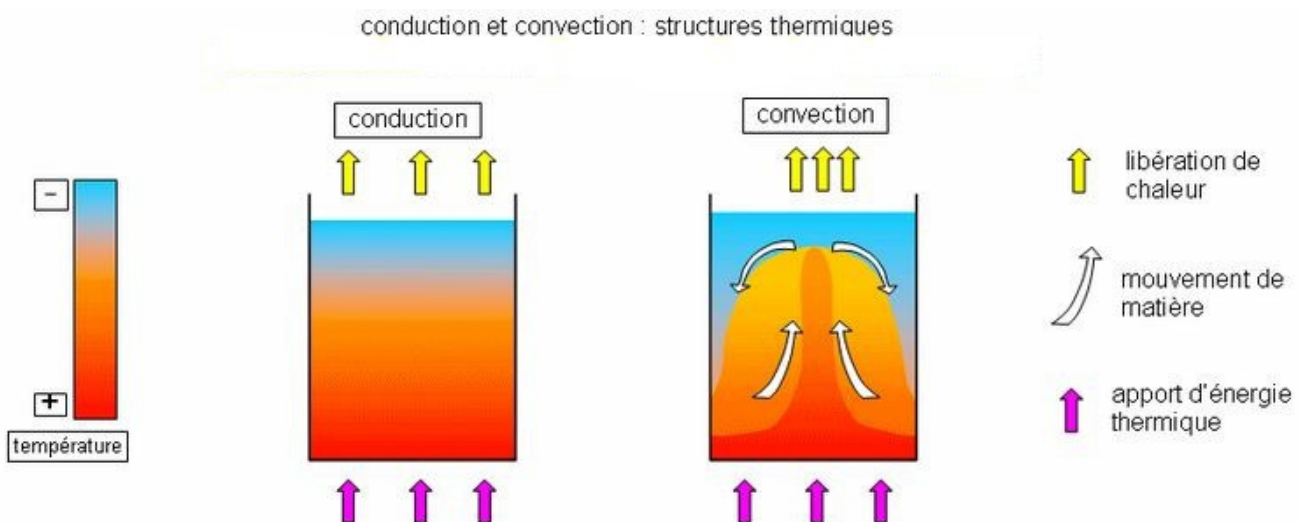
- de la désintégration des éléments radioactifs contenus dans les roches (90%) notamment l'uranium 235 et 238, le thorium 232 et le potassium 40. Les noyaux de ces atomes sont capables de se fragmenter spontanément (fission nucléaire) et produisent alors un rayonnement et de l'énergie thermique. Cette 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 1^{ère} S) et ont mis en évidence des flux de matière circulaires formant des cellules de convection. Ce transfert d'énergie est très efficace.

Schéma de la convection et de la conduction :



Et une [animation](#) pour comprendre la convection et la conduction.

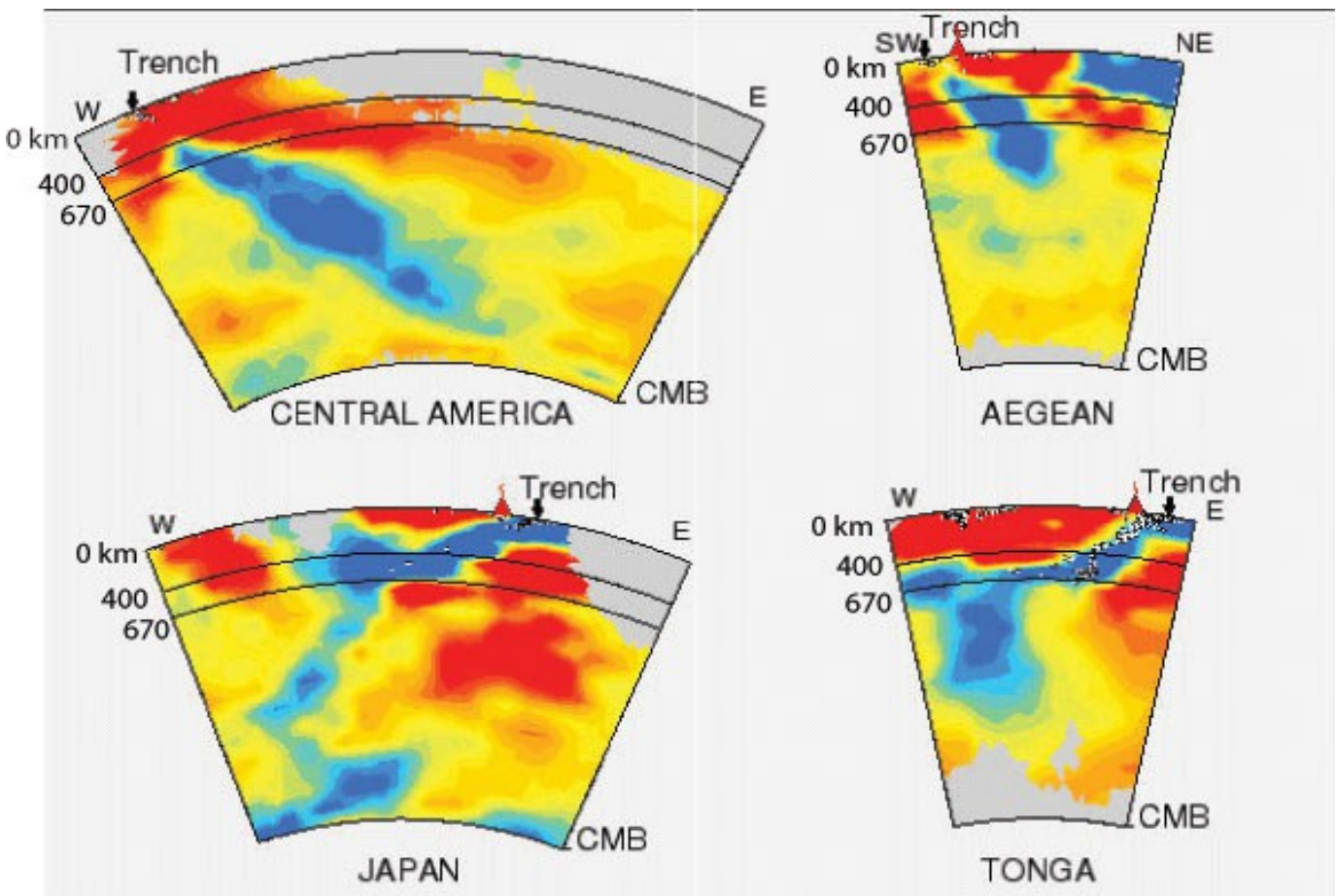
3- Vers un modèle global

La tomographie thermique permet d'observer des mouvements ascendants de la matière chaude et solide de grande ampleur au sein du manteau. Elle permet d'établir des "coupes" du globe terrestre grâce à une analyse des vitesses de propagation des ondes sismiques. Les vitesses enregistrées dépendent, notamment, des caractéristiques physiques du milieu traversé (température, pression).

Sur chaque image, les régions colorées en rouge correspondent aux régions anormalement chaudes, la vitesse des ondes est inférieure à la vitesse "normale". Les zones colorées en bleu montrent des régions « froides » ; les ondes s'y propagent rapidement.

Ces zones froides correspondent aux plaques océaniques subduites dans le manteau.

NB : ces images semblent indiquer que la plaque plongeante s'enfonce sous la limite 670 km pour atteindre l'interface manteau-noyau (CMB : Core Mantel Boundary).

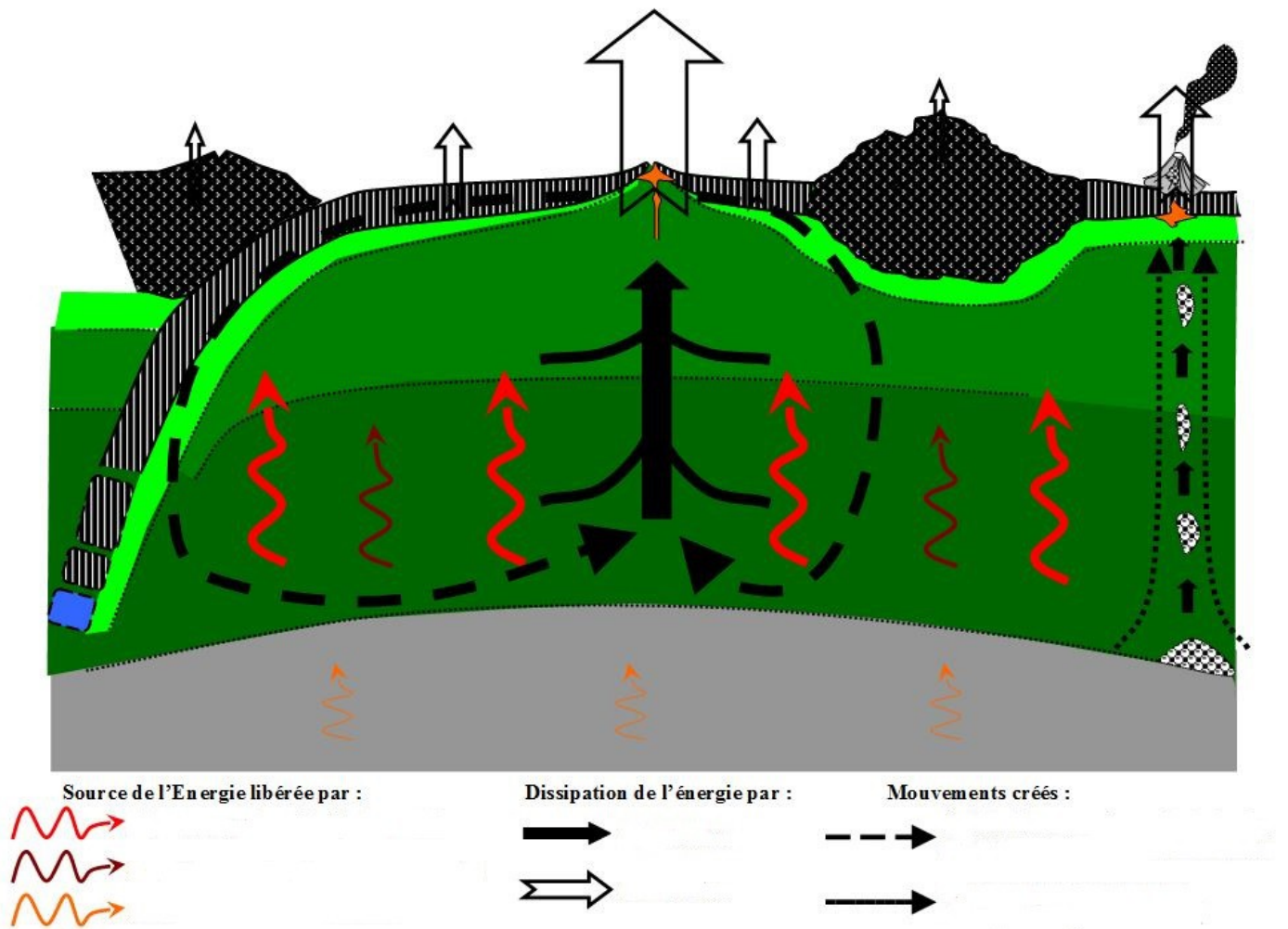


Images tomographiques au niveau de l'Amérique centrale (Central America), Japon (Japan), Égée (Agean) et Tonga.

D'après

http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosgeol/01_decouvrir/02_subduction/04_subduction_plaques/01_terrain/img/grandes/02a/12a.htm

Schéma bilan des mouvements au sein de la planète Terre :



Ces panaches mantelliques initiés en profondeur sont associés au magmatisme de point chaud. Ils sont à l'origine d'une dissipation d'énergie thermique par convection.

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).

Conclusion :

Terre: machine thermique

