

La Terre Machine thermique

Tristan FERROIR

June 11, 2007

Introduction

La théorie des machines thermiques s'attache à la description et à l'étude physique de certains systèmes thermodynamiques qui permettent de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique, et vice versa. Dans le cas de la Terre, les flux mesurés permettent d'arriver à une moyenne de 80mW/m^2 , soit une perte globale de 42TW . Il s'agit pour nous de savoir quelle est l'origine de ces 42TW , où ces pertes sont le plus importantes et comment toute cette énergie est véhiculée de l'intérieur de la Terre à l'extérieur. On exclura de parler de l'énergie apportée de l'extérieur par le Soleil.

I Sources et lieu de dissipation de la chaleur terrestre

A Flux de chaleur à la surface de la Terre

- * Quelques manifestations de la dissipation de chaleur terrestre : volcans, séismes
- * Etude de la carte du flux de chaleur terrestre : les continents sont froids, les océans plus chauds, surtout au niveau des dorsales.
- * Les continents dissipent 21% de la chaleur terrestre, les plates formes continentales 7% et enfin les océans 72%. La présence d'une convection thermique au niveau des dorsales améliorent la dissipation.

B Les sources de chaleur interne

- * La radioactivité : 43% de la dissipation de la chaleur terrestre, la chaleur sensible (refroidissement du manteau et du noyau) 42%, la chaleur latente de cristallisation de la graine 7% et l'énergie gravitationnelle 8%
- * La chaleur produite par radioactivité est essentiellement produite au niveau du manteau inférieur (62,7% par les couples U-Th-Pb, Rb-Sr, K-Ar, Sm-Nd) et de la croûte continentale 30,2% par ces memes couples (moins le Sm-Nd). La contribution du manteau supérieur (7,4% et de la croûte océanique 0,3%) est plus faible. Il y a une forte incertitude sur le noyau car on ne peut pas exclure la présence de K dans les éléments légers.

II Les modes d'évacuation de la chaleur terrestre :

la conduction et la convection

A La convection : un moyen efficace d'évacuer la chaleur

- * Il faut un fluide déformable, un gradient de densité anormal → mouvement. Si le mouvement perdure, c'est qu'il est entretenu par un apport d'énergie.
- * Notion de couche limite thermique
- * Gradient de T faible
- * Différents types de chauffage
- * Déclenchement de la convection : notion d'instabilité (chimique ou thermique) avec un seuil
- * Les différents nombres de Rayleigh (chauffage interne, refroidissement sur les bords). Aspects de la convection en fonction de du nombre de Rayleigh.

B La conduction : un moyen peu efficace d'évacuer la chaleur

- * Notion de couche limite thermique
- * Le passage d'un régime à un autre implique ces couches
- * La lithosphère, un système conducteur qui voit passer toute la chaleur

C L'établissement du géotherme

- * Le profil de température dans la Terre
- * Les points d'ancrage du géotherme

III De la dissipation de chaleur au mouvement

dans la Terre

A La convection mantellique : les observations

- * L'outil tomographique (par ex Jolivet et Nataf p. 182, Liboutry ch. 1). Tomographie à différentes profondeurs. Les zones lentes sont considérées comme des zones froides et les

zones rapides comme des lieux où la température est plus élevée. Les zones froides du manteau inférieur pourraient être interprétées comme des "stockages" de plaques subductées il y a 150 Ma.

- * Le géoïde observé ne correspond pas en tout point à cet ellipsoïde. Il existe des anomalies de masse par rapport à la structure en enveloppes concentriques. Interprétation des différentes longueurs d'onde d'observation du géoïde : (cf par exemple Cazenave et Feigl) anomalie peu profonde visible à petite longueur d'onde, anomalie profonde visible à grande longueur d'onde. Ainsi, les harmoniques entre 3 et 10 représentent bien la structure du manteau entre 600 et 1700 km de profondeur, et les premiers harmoniques informent sur ce qui se passe dans le manteau inférieur. Pour les observations de surface, il y a une corrélation positive entre anomalie de masse (topographie) et anomalie de gravité. En revanche, pour le manteau inférieur, c'est à dire pour les premiers harmoniques, on observe une corrélation négative (qui s'explique si l'on tient compte de la déflexion du noyau liée aux mouvements de convection) (cf Nataf et Sommeria ou Jolivet et Nataf p. 196).

B La convection mantellique : modélisations numériques et analogiques

- * Modélisations analogiques ou numériques. Modélisations numériques cherchant à mettre en évidence le rôle des différents paramètres physiques (gradient de T°C, viscosité,...) sur la convection et l'installation d'une couche limite thermique affectée d'une tectonique de plaques. Bonne corrélation entre simulation et réalité pour des paramètres raisonnables mais les simulations ne rendent pas compte de l'asymétrie de la subduction les simulations présentent des cellules de taille homogène, alors que les plaques lithosphériques sont de taille variable.

Ces divergences entre réalité et modélisation pourraient s'expliquer par les particularités des déformations aux limites de plaques, par la présence des continents et par l'histoire tectonique de ces continents (zones stables, zones fragilisées,?) (par ex Jolivet et Nataf p. 180)

- * L'affrontement géophysique et géochimiste
- * Distribution des continents et évacuation de la chaleur, l'accumulation de la chaleur sous les super-continentaux serait un moteur de l'éclatement continental.

Conclusion

Biblio

Caron - Comprendre et enseigner la planète Terre

Brahic - Sciences de la terre et de l'univers.

Poirier - Les profondeurs de la Terre

Larroque et Virrieux - Physique de la Terre solide

Nataf - La Physique et la Terre

Jolivet et Nataf - Géodynamique

Cazenave - Formes et mouvements de la Terre. Satellites et géodésie

Dewaele et Sanloup - L'intérieur de la Terre et des planètes