

La Terre Machine Thermique

G. Fanjat (fanjat@gm.univ-montp2.fr)

Introduction

- **Amorce:** La Terre est une planète vivante, comme en témoignent les mouvements de tectonique des plaques, à l'origine des séismes et de la plupart des volcans. L'énergie nécessaire à cette dynamique provient du refroidissement de la Terre au cours du temps. La température de l'intérieur de la Terre est très élevée (environ 5000 K au centre de la Terre) et elle l'était encore plus à l'origine.
- **Problématique:** Où ont lieu ces pertes de chaleur? Comment la chaleur est-elle véhiculée à l'intérieur de la Terre? D'où provient-elle?
- **Annonce du plan:** On exclura l'étude de l'énergie apportée par le Soleil

1 Dissipation de la chaleur à la surface de la Terre

1.1 La mesure du flux de chaleur à la surface de la Terre

- Mesures ponctuelles de flux de chaleur en surface (quantité de chaleur qui sort de la Terre par unité de surface et de temps)
- Cette distribution de mesure n'est ni continue ni uniforme → transformer ces observations en une carte globale et continue de valeurs: pour cela il faut interpoler les valeurs mesurées, autrement dit lisser ces valeurs pour les prolonger là où il n'y a pas de mesures. On réalise cela avec des fonctions qui s'appellent les harmoniques sphériques.

1.2 Les observations de la dissipation de la chaleur à la surface de la Terre

- Quelques manifestations de la dissipation de chaleur terrestre à la surface: volcans, séismes
- 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 ($< 60 \text{ mW/m}^2$), les plates formes continentales 7% et enfin les océans 72% (120 mW/m^2), en moyenne 80 mW/m^2 soit 42 TW pour la totalité du globe

Bilan La Terre dissipe en continue de la chaleur. De quelles sources provient cette énergie?

2 Les sources de chaleur interne

2.1 La radioactivité ($\approx 70\%$)

- la chaleur interne de la Terre provient majoritairement de la désintégration d'isotopes radioactifs

- Éléments à l'origine de cette radioactivité: le potassium 40, l'uranium 238 et 235, et le thorium 232. Ces isotopes rayonnent de la chaleur lorsqu'ils se désintègrent.
- 30 % produit par la croûte continentale, 70% par le manteau. Incertitude sur la présence de K dans le noyau.

2.2 La chaleur latente de cristallisation de la graine ($\approx 5\%$)

- Graine interne solide, qui grandit au cours du temps
- Libération de chaleur latente de cristallisation lors du changement d'état

2.3 L'énergie gravitationnelle primordiale ($\approx 5\%$)

- Les forces de gravité sont à l'origine de l'effondrement du nuage de particules et de gaz chauds de l'espace de la "proto-Terre".
- Par un processus de tri gravitationnel appelé différenciation, les éléments les plus denses ont été entraînés vers le centre, et les zones les moins denses se sont déplacées vers l'extérieur. Les frottements produits par ce processus ont produit une chaleur considérable.

Bilan: La Terre perd plus de chaleur qu'elle n'en produit. Cette chaleur perdue correspond chaleur initiale liée à l'accrétion et à la radioactivité de courte période, c'est ce qu'on nomme le « refroidissement séculaire. La Terre se refroidit.

3 Les modes de dissipation de la chaleur terrestre

3.1 La conduction

- Transfert d'énergie sans transfert de chaleurs
- Fort gradient thermique (exemple dans la lithosphère)

3.2 La convection

- Transfert de chaleur par mouvement de matière
- Notion de nombre de Rayleigh, notion d'instabilité
- Chauffage par dessous (chaleur latente) + chauffage interne (radioactivité)
- Gradient thermique faible (gradient adiabatique)

Bilan: Il y a des parties convectives et des parties conductives dans la Terre. Qu'elles sont-elles?

4 Les conséquences de la convection

4.1 Les observations de la convection mantellique

- Nombre de Rayleigh du manteau \rightarrow convection
- Observation de la tectonique des plaques

\Rightarrow Construction du géotherme dans le manteau (notion de point d'ancrage) et couches limites thermiques = lithosphère

4.2 Les observations de la convection nucléaire

- Nombre de Rayleigh du noyau \rightarrow convection
- Observation d'un champ magnétique d'origine interne

\Rightarrow Construction du géotherme dans le noyau (notion de point d'ancrage) et couches limites thermiques = D''

5 Conclusion

Bilan: La Terre dissipe une énergie de 42 TW sur l'ensemble de sa surface. Cette chaleur a pour origine la radioactivité (70%), la chaleur latente de cristallisation (5%) et l'énergie issue de la différenciation gravitationnelle (5%). Le reste provient de pertes de la chaleur initiale conduisant au refroidissement progressif de la Terre. Les modes de dissipations de la chaleur sont la conduction au niveau des couches limites thermiques (lithosphère + D'') et la convection dans le manteau (conséquence = tectonique des plaques) et dans le noyau (conséquence = champ magnétique). Ce régime n'a pas toujours été le même (archéen, gradient thermique beaucoup plus fort, absence de graine dans le noyau).

Ouverture: La dynamique interne des autres planètes telluriques

Bibliographie

- Allègre C. (2005), Géologie isotopique, Belin éd.
- Brahic et al (2006), Sciences de la Terre et de l'Univers, Vuibert éd.
- Dewaele E. et Sanloup G. (2005). - L'intérieur de la Terre et des planètes. Belin éd.
- Larroque C. et Virieux J. (2001). - Physique de la Terre solide : observations et théories. Gordon and Breach Science Publishers éd
- Nataf H. C., Sommeria J. (2000). - La physique et la Terre. Belin / CNRS Editions.
- Poirier J. P. (1991). - Les profondeurs de la Terre. Masson éd.
- Poirier J. P. (1996). - Le noyau de la Terre. Masson éd.
- PLS, Dossier spécial La Terre à coeur ouvert