Introduction aux sciences de la Terre
Examen 2005

Master de sciences de la matière, M1, ENS Lyon.

Documents autorisés : cours. 3 pages d'énoncé. Durée : 2 h

— o —

I. Lithosphère océanique (~15/20)

On va déterminer la structure thermique de la lithosphère et quelques conséquences. Pour les applications numériques on prendra : $\chi = 1$ mm^2/s (diffusivité thermique), $k = 3$ W/m/K (conductivité thermique), $\alpha = 3.10^{-5}$ /K (expansivité thermique), $\rho_A = 3200$ kg/m^3 (densité de l'asthénosphère), $T_A = 1600$ K (température de l'asthénosphère), $T_0 = 300$ K (température au fond de l'océan). Ces quantités seront supposées constantes, les trois premières dans la Terre, les 2 suivantes dans l'asthénosphère.

1. Indiquer en quelques lignes comment on peut montrer que la température $T(t, z)$ de la lithosphère océanique d'âge t à la profondeur z est donnée par :

$$\frac{T - T_0}{T_A - T_0} = \mathrm{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\chi\, t}}\right),$$

où erf la fonction

$$\mathrm{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-u^2} \;\; \mathrm{d}u.$$

Elle vérifie :

$$\mathrm{erf}(+\infty) = 1 \qquad \int_0^{+\infty} (1 - \mathrm{erf}(u)) \; \mathrm{d}u = 1/\sqrt{\pi},$$

$$\mathrm{erf}(1) \simeq 0,8 \qquad \mathrm{erf}(1,2) \simeq 0,9.$$

Donner l'expression de T en fonction de z, de la distance x à la dorsale et de la vitesse u de la plaque océanique. Quel est l'ordre de grandeur de cette vitesse ?

2. Quelle est la forme des isothermes dans la lithosphère océanique ?

On va admettre que l'isotherme T_L telle que $(T_L - T_0)/(T_A - T_0) = 0,9$ définit la frontière entre l'asthénosphère de température uniforme et la lithosphère.

3. Que représente la lithosphère pour un système en convection ? Décrire en quelques lignes comment on estime la température dans la Terre et représenter schématiquement ce profil de température.

4. Donner l'épaisseur z_L de la lithosphère en fonction de son âge en MA (million d'années). Quelle est l'épaisseur d'une lithosphère d'âge 100 MA ?

5. Comment varie le flux de chaleur en surface de la lithosphère ?

6. En supposant l'équilibre isostatique, quel est l'enfoncement $w(x)$ du fond océanique, par rapport au sommet de la dorsale ? Quel est l'enfoncement d'une lithosphère de 100 MA ? On supposera que la densité varie en $\rho = \rho_A(1 - \alpha(T - T_A))$.

Dans ce qui suit on va considérer une plaque océanique actuelle carrée de côté $D =$ 12000 km, se déplaçant à la vitesse $u = 10$ cm/an, d'une dorsale vers une zone de subduction. Ses deux autres côtés sont des failles transformantes.

7. Définir subduction, dorsale et failles transformantes. Donnez des exemples géographiques.

8. Quelle est l'âge moyen de cette plaque, son épaisseur moyenne, son flux de chaleur moyen, son enfoncement moyen ?

Quelle puissance ce flux de chaleur représente-t-il pour la Terre globale ? Est-ce compatible avec les valeurs mesurées ?

On va admettre que les aires moyennes des lithosphères océaniques et continentales ainsi que la différence d'altitude entre continents et dorsales n'ont pas changé au cours du dernier millard d'années.

9. Est-ce raisonnable ?

10. En déduire que le niveau moyen des mers (niveau marin mesuré par rapport aux continents) est lié à l'âge moyen de la lithosphère océanique. Au Crétacé, il y a 80 MA, les terres émergées étaient fort réduites et le niveau marin était de 300 m au dessus de celui d'aujourd'hui. Quels étaient l'âge moyen des fonds océaniques et la vitesse moyenne des plaques océaniques ?

II. Lecture historique (∼5/20)

Expliquer et commenter (de l'ordre d'une page) le texte ci-dessous, extrait de *La figure de la Terre*, 1754, par Pierre Bouguer, et qui est considéré comme le premier essai de gravimétrie.

Indications : Bouguer a réalisé des mesures de pesanteur avec un pendule battant la seconde. Δ est la densité moyenne de la Terre, δ celle des roches de surface, h est l'altitude de Quito (Équateur). On expliquera notamment comment on arrive simplement à l'expression $\frac{1}{1331} = \frac{2h\Delta - \frac{3}{2}h\delta}{r\Delta}$. On se servira de l'expression de l'attraction d'un plateau infini de hauteur h de densité δ. On indiquera aussi quel est le résultat fourni par cette observation. Ce résultat est-il éloigné de la valeur connue actuellement ?

50. L'expérience nous a fait trouver une diminution d'une 1331^{me} partie sur la longueur du pendule ou sur la pesanteur, lorsqu'on monte du bord de la Mer jusqu'à Quito. La fraction $\frac{1}{1331}$ répond donc à $2h\Delta - \frac{3}{2}h\delta$ comparée à $r\Delta$ qui exprime la pesanteur au bord de la Mer. C'est-à-dire que nous avons $\frac{1}{1331} = \frac{2h\Delta - \frac{3}{2}h\delta}{r\Delta}$.

Et si à la place de $\frac{h}{r}$ nous mettons le rapport $\frac{1}{2237}$ que nous fournit la hauteur de Quito comparée au rayon de notre Globe, nous aurons $\frac{1}{1331} = \frac{1}{2237} \times \frac{2\Delta - \frac{3}{2}\delta}{\Delta}$; & nous en déduisons $\delta = \frac{810}{3993}\Delta$, ce qui nous apprend que la Cordeliere du Pérou, malgré toutes les matieres métalliques qu'elle contient, n'a pas le quart de la densité qu'a l'intérieur de la Terre.

— o —