

Introduction aux sciences de la Terre
Examen du lundi 28 avril 2003

Magistère de sciences de la matière, Deuxième année, ENS Lyon.

Documents autorisés : tous. 2 pages d'énoncé. Durée : 2h

— o —

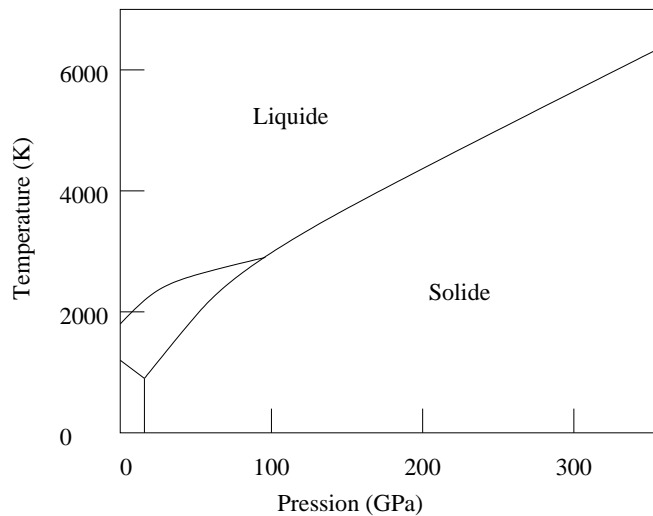
Refroidissement du noyau terrestre¹ (15/20)

Données du problème : tableau 1, figure 1, rayon terrestre $R = 6371$ km.

Tableau 1 - données géophysiques :

Profondeur (km)	Pression (GPa)	Température (K)	Pesanteur ($m\ s^{-2}$)	Masse volumique ($kg\ m^{-3}$)
2900	136	4500 (± 500)	10,7	9900
5150 ⁻	329	6000 (± 1000)	4,4	12170 (côté liquide)
5150 ⁺	329	6000 (± 1000)	4,4	12760 (côté solide)

FIG. 1 – Diagramme de phases du fer



1. Donner des arguments indiquant la présence d'un noyau liquide entre 2900 et 5150 km de profondeur.

2. A votre avis quels sont les arguments qui permettent de penser que le noyau terrestre est essentiellement composé de fer ? Dans ce problème on supposera qu'il est composé de fer pur.

3. Donner une estimation du gradient géothermique (gradient de température) dans le manteau.

4. Expliquer l'existence d'un noyau solide (graine) et son évolution temporelle avec le refroidissement de la Terre.

¹D'après l'épreuve de sciences de la Terre BCPST du concours 2002 des ENS.

5. En supposant un refroidissement moyen de la Terre de $dT/dt = 120 \text{ K/Ga}$ ($1\text{Ga} = 10^9 \text{ ans}$) (on supposera que cette diminution de température est uniforme dans la Terre), donner la vitesse de variation du rayon de la graine. Quel est l'âge de la graine si l'on suppose cette vitesse constante? Commenter.

6. A partir des données du problème et à l'aide de la formule de Clapeyron $dT/dP = \Delta V/\Delta S$ estimer l'enthalpie massique $L = T\Delta S/m$ de la réaction de cristallisation du fer à l'interface noyau fluide-graine.

7. En déduire la quantité de chaleur \dot{Q} libérée par unité de temps par la cristallisation de la graine. Indiquer une conséquence géophysique de cette libération de chaleur.

8. On estime à $q = 85 \text{ mW m}^{-2}$ le flux de chaleur moyen mesuré en surface, environ 20 TW la puissance produite par le chauffage radioactif, et $C = 5,3 \cdot 10^{27} \text{ J K}^{-1}$ la capacité calorifique efficace de la Terre (c'est-à-dire telle que le refroidissement libère la quantité de chaleur CdT). Comparer ces valeurs à \dot{Q} .

Lecture historique (5/20)

Expliquer et commenter (de l'ordre d'une page) la proposition suivante, extraite des *Principia*² de Newton :

PROPOSITION XVIII. THÉORÈME XVI.

Les axes des planettes sont plus petits que les rayons de leurs équateurs.

Si les planettes n'avoient point le mouvement journalier de rotation autour de leur axe, elles devroient être sphériques à cause de l'égle gravité de leurs parties. Le mouvement de rotation fait que les parties qui s'éloignent de l'axe font effort pour monter vers l'équateur. Et par conséquent, si la matière dont elles sont composées étoit fluide, son élévation vers l'équateur augmenteroit le diamètre de ce cercle, & son abaissement vers les pôles diminueroit l'axe. Aussi les observations astronomiques nous apprennent-elles que dans Jupiter le diamètre qui va d'un pôle à l'autre est plus court que celui qui va de l'Orient à l'Occident. Par le même raisonnement, on verra que si notre terre n'étoit pas un peu plus haute à l'équateur qu'aux pôles, les mers s'affaissant vers les pôles, & s'élevant vers l'équateur inonderoient toutes ces régions.

— 0 —

Texte disponible à <http://www.ens-lyon.fr/~fchambat/html/ens.html>

²Philosophiae naturalis principia mathematica, Londres, 1687; 2e éd. R. Cotes, Cambridge, 1713; 3e éd. H. Pemberton, Londres, 1726. Traduction française par la Marquise du Châtelet : Principes mathématiques de la philosophie naturelle, Paris, 1759.