

**SESSION 2004**

---

Filière : 2<sup>ème</sup> concours – Concours F/S (Paris)

**GÉOSCIENCES**

(Épreuve commune aux ENS Ulm et Lyon)

Durée : 3 heures

---

*L'usage de la calculatrice est autorisé.  
Les échanges de calculatrice entre candidats ne sont pas autorisés.*

## PREAMBULE

La qualité de la rédaction et la concision des réponses seront prises en compte dans l'évaluation

## I. PREMIERE PARTIE

---

### Sismologie et structure interne de la Terre

- 1.1 Qu'est-ce que la sismologie ?
- 1.2 Reportez sur le planisphère joint à la fin du sujet (document 1 à remettre complété avec votre copie) la répartition mondiale des séismes, y signalant la profondeur moyenne à laquelle ils se produisent
- 1.3 Faites une coupe mettant en évidence la disposition des séismes en fonction de la profondeur dans les deux endroits proposés (coupes A-B et C-D).
- 1.4 Quels sont les trois principaux contextes géologiques dans lesquels les séismes se produisent. Quel(s) phénomène(s) est (sont) à l'origine des séismes ?
- 1.5 Citez les principaux types d'ondes sismiques que vous connaissez.
- 1.6 Ci-dessous les lois de vitesse,  $V_P$  et  $V_S$ , des ondes P et S en fonction du module d'incompressibilité ( $K$ ), du module de cisaillement ( $\mu$ ) et de la masse volumique ( $\rho$ ). Commentez ces différents paramètres, en particulier leur évolution en fonction de la profondeur. Quelle est la dimension de ces paramètres ? Quelles sont les principales caractéristiques des ondes P et S.

$$V_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \qquad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

- 1.7 Quel que soit le lieu d'un séisme, tous les sismogrammes situés dans une bande entre 104 et 144 ° de distance épacentrale (angle du dièdre : foyer du séisme - centre de la Terre - station sismique) ne reçoivent aucune onde directe.
  - 1.8.1. Comment est appelée cette zone ?
  - 1.8.2. Proposez une interprétation de cette observation, en terme de discontinuité de vitesse.
  - 1.8.3. Connaissant le rayon de la Terre et au vu des informations ci-dessus, calculez la profondeur de la discontinuité. Pour le calcul, on supposera que les rais sismiques sont des droites.
  - 1.8.4. Comparez ce résultat avec la structure interne de la Terre. Citez quelques causes d'erreurs possibles associées au calcul de 1.8.3.
- 1.8 La figure 1 présente le modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model). Commentez ce modèle, en identifiant les principales enveloppes terrestres. Proposez une interprétation des sauts de vitesse observés. Pourquoi les ondes S ne se propagent-elles pas entre 2900 et 5100 Km de profondeur ?

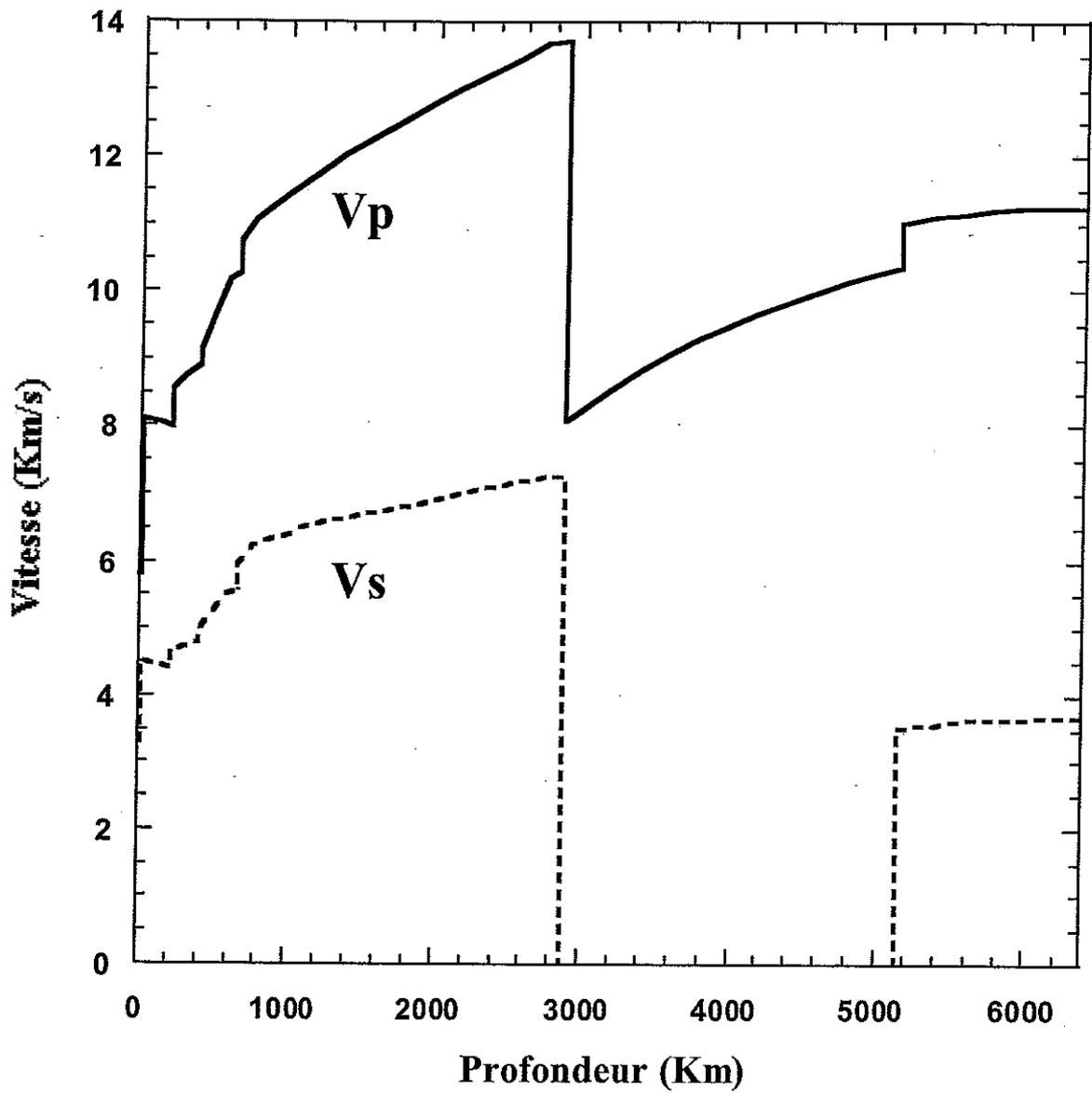


Figure 1 : Profil radial de vitesse de propagation des ondes P et S du modèle PREM (d'après Dziewonski et Anderson, 1981)

## II. DEUXIEME PARTIE

### Les transitions de phase dans le manteau

- 2.1 Nous allons nous intéresser maintenant à la pétrologie du manteau terrestre. Quelle est la roche constitutive du manteau supérieur ? Quels minéraux la constituent ? Quelle est sa densité ? Dans quels contextes géologiques l'observe-t-on à l'affleurement ?
- 2.2 Le principal minéral de cette roche a été très étudié en laboratoire. En particulier son diagramme de phase a été établi (figure 2). Comment s'appellent des minéraux de même composition chimique ayant des structures cristallines différentes ? Donnez un exemple. Commentez la figure 2.

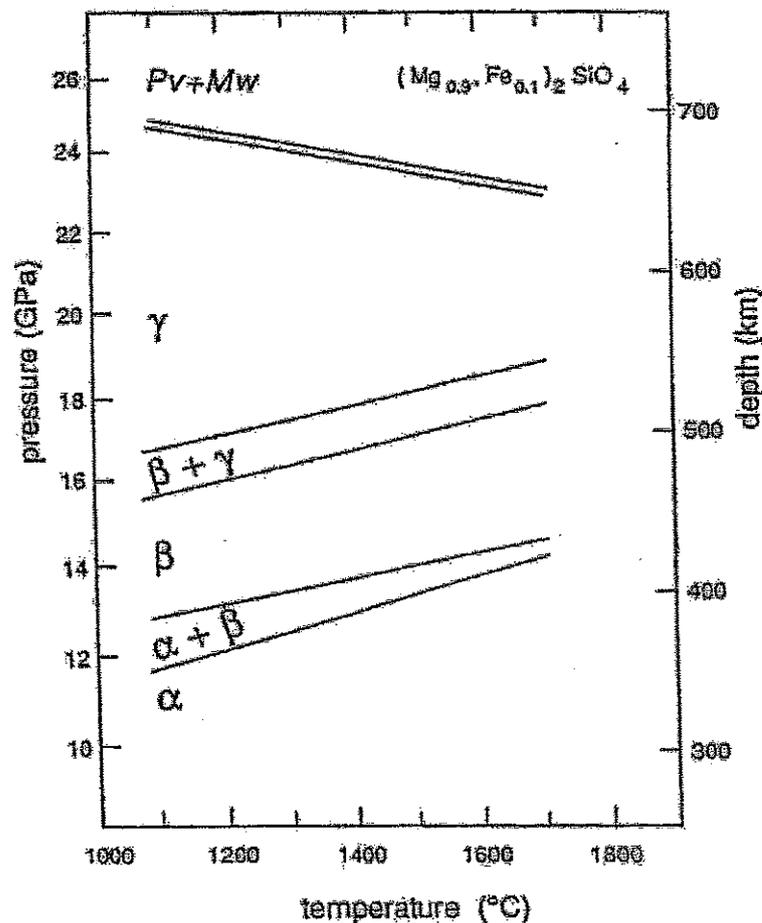


Figure 2 : Diagramme de phase de  $(Mg_{0.9}, Fe_{0.1})_2SiO_4$   
Pv, perovskite  $(Mg, Fe)SiO_3$ , Mw magnésio-wüstite  $(Fe, Mg)O$

- 2.3 Ecrivez la réaction minéralogique qui se produit entre 22 et 26 GPa.
- 2.4 Interprétez le profil de vitesse des ondes sismiques (figure 1) à la lumière de la figure 2.
- 2.5 A partir des données du tableau 1 calculez les masses volumiques des pôles purs  $Mg_2SiO_4$  et  $Fe_2SiO_4$  ainsi que de la solution solide (minéral de composition intermédiaire) du diagramme de phase  $(Mg_{0.9}, Fe_{0.1})_2SiO_4$ .

Tableau 1 : volumes molaires ( $\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$ ) des pôles purs de la solution solide  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ .

	$\text{Mg}_2\text{SiO}_4$	$\text{Fe}_2\text{SiO}_4$
$\alpha$	43.67	46.28
$\beta$	40.54	43.14
$\gamma$	39.65	42.02

- 2.6 Sachant que la pente de ces droites de réaction,  $dP/dT$  est égale au rapport entre la variation d'entropie et la variation de volume associé à la réaction ( $\Delta S/\Delta V$ ) (relation de Clapeyron), donnez les signes de ces grandeurs pour les réactions présentées sur la figure 2.
- 2.7 La chaleur  $Q$  dégagée ou absorbée au cours d'une réaction peut être calculée suivant la relation :  $Q = TAS$ ,  $T$  étant la température. Que peut-on dire alors sur le caractère endothermique (absorption de chaleur) ou exothermique (dégagement de chaleur) des réactions de la figure 2 ?
- 2.8 A partir des données du tableau 2 et des résultats de la question 2.5, calculez les vitesses des ondes P et S pour les différentes phases  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  de  $(\text{Mg}_{0.9}, \text{Fe}_{0.1})_2\text{SiO}_4$ .

Tableau 2 : Modules d'incompressibilité et cisaillement en GPa pour  $(\text{Mg}_{0.9}, \text{Fe}_{0.1})_2\text{SiO}_4$ .

	$K_s$	$\mu$
$\alpha$	129	80
$\beta$	174	114
$\gamma$	184	119

- 2.9 A l'aide de la figure 2, précisez les conditions de température régnant au sein du manteau terrestre à l'équilibre thermique en donnant une fourchette de température, à  $100^\circ\text{C}$  près, à certaines profondeurs remarquables.
- 2.10 Sur la figure 3 sont schématisées des lignes isothermes à l'aplomb des zones de subduction et des dorsales. Pourquoi ces deux zones sont-elles particulièrement importantes dans la dynamique terrestre globale ? Pourquoi les isothermes ne sont-elles pas des droites horizontales ? Reportez sur le document 2, la profondeur à laquelle vont se produire les réactions de la figure 2.

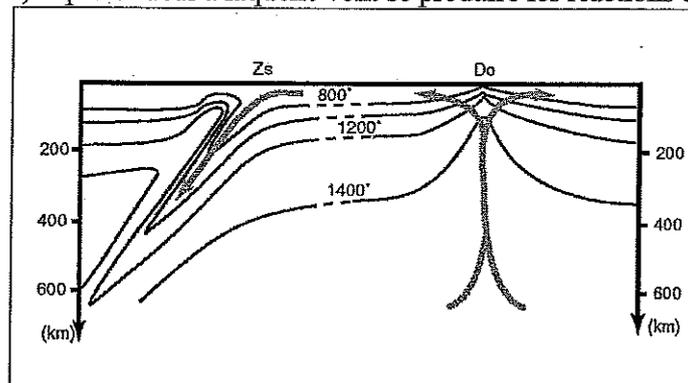


Figure 3. Isothermes sous les zones de subduction et sous les dorsales

- 2.11 En vous appuyant sur les résultats des questions précédentes, que pouvez vous conclure quant à l'évolution du contraste de densité entre une plaque en subduction, le manteau environnant, en fonction de la profondeur ?

Données :  $M_{\text{Mg}} = 24.31 \text{ g/mol}$ ,  $M_{\text{Si}} = 28.08 \text{ g/mol}$ ,  $M_{\text{Fe}} = 55.85 \text{ g/mol}$  et  $M_{\text{O}} = 15.99 \text{ g/mol}$ .

### III. TROISIEME PARTIE

---

#### Masse et modèle chimique de Terre

3.1 Eratosthène (III av. J.-C.) calcula le rayon de la Terre grâce à une méthode ingénieuse. Le 21 juin à midi il mesura l'ombre d'un obélisque à Alexandrie et au même moment à Assouan (appelé Syène à l'époque, et situé au Sud de l'Égypte) le Soleil se reflète entièrement sur l'eau au fonds d'un puits.

- 3.1.1. Pourquoi a-t-il choisi le 21 juin à midi pour réaliser ses mesures ?
- 3.1.2. Quelle est la position particulière d'Assouan sur la Terre.
- 3.1.3. Eratosthène sait que les caravanes de chameaux mettent 50 jours pour aller d'Assouan à Alexandrie. Estimant qu'un chameau parcourt 100 stades par jour il calcula la distance qui sépare les deux points. Si un stade vaut environ 0,16 km, quelle est la distance (en km) entre Alexandrie et Assouan ?
- 3.1.4. En sachant que l'angle que font les rayons de Soleil avec la verticale à Alexandrie est d'environ  $7^\circ$ , déduisez le rayon de la Terre. Faites un schéma pour illustrer le calcul.
- 3.1.5. Comparez cette valeur à la valeur réelle, et calculez l'erreur relative sur la valeur proposée par Eratosthène.
- 3.1.6. Pour que la mesure d'Eratosthène soit plus précise il faudrait que ces deux lieux de mesures soit sur une ligne particulière : laquelle ? Trouvez d'autres causes pour justifier l'erreur d'Eratosthène.

3.2 Cavendish détermina la valeur de  $G$ , la constante universelle de gravitation en 1798. Elle vaut  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^{-2} \text{ kg}^{-2}$ . La masse de la Terre peut donc être calculée grâce aux lois de la mécanique, pour peu que le rayon terrestre  $R_T$ , et l'accélération de la pesanteur  $g$  soient connus.

- 3.2.1. Ecrivez cette relation.
- 3.2.2. Connaissant  $R_T$  et l'accélération  $g$  à la surface de la Terre, déduisez la masse de la Terre  $M_T$ , et sa masse volumique moyenne  $\rho_T$ .
- 3.2.3. Comparez le résultat de la question précédente à la densité moyenne des roches de surface.

3.3 Au début des années 1950, le géophysicien américain Francis Birch a mis en évidence une relation empirique linéaire entre la vitesse des ondes sismiques et la masse volumique ( $\rho$ ) du milieu traversé (figure 4). Les données obtenues s'alignent sur des droites pour la même masse atomique moyenne. Il a montré que cette relation est vraie pour toute variation de masse volumique, quelle qu'en soit l'origine. D'après la figure 4, quels éléments, ou/et minéraux sont les meilleurs candidats pour constituer les deux principales enveloppes terrestres.

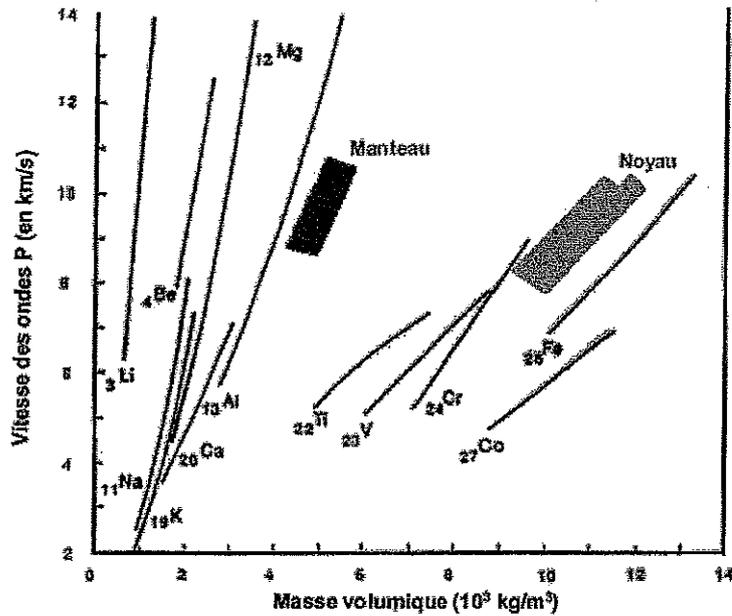


Figure 4 : Lois de Birch pour différents éléments chimiques.  
Les données sismiques pour le manteau et le noyau terrestres sont montrées

3.4 L'objectif de cette question est de calculer les masses du noyau et du manteau actuels à partir de données géochimiques. Le rapport massique Fe/Mg pour la Terre Globale est :  $(\text{Fe/Mg})_{\text{TG}}=1,8$  alors que dans le manteau, ce rapport est  $(\text{Fe/Mg})_{\text{manteau}} = 0,23$  (on négligera les contributions de la croûte terrestre, de l'hydrosphère et de l'atmosphère).

- 3.4.1 Quels objets naturels utiliseriez vous pour mesurer ces deux rapports?
- 3.4.2 Comment expliquez vous la différence entre la Terre Globale et le manteau actuel ?
- 3.4.3 Considérant que fer de la Terre Globale est distribué entre le manteau et le noyau, exprimez la masse de fer dans le noyau en fonction des deux rapports Fe/Mg donnés ci-dessus et des masses de magnésium dans le manteau et dans la Terre totale.
- 3.4.4 Le magnésium est un élément non sidérophile, et donc lithophile. Définissez ces termes ? Quelle hypothèse peut-on alors avancer quant à la distribution du magnésium dans les différentes enveloppes terrestres ? En prenant en compte ce comportement du magnésium, réécrivez la relation obtenue en 3.4.3.
- 3.4.5 Si l'on considère que le noyau est composé uniquement de fer, exprimez alors le rapport de masse entre le noyau et le manteau en fonction des masses de magnésium dans le manteau et de fer dans le noyau, et de la concentration en poids du magnésium dans le manteau. Sachant que le magnésium représente 22,78% de la masse du manteau, calculez la valeur de ce rapport.
- 3.4.6 Enfin, connaissant la masse totale de la Terre (question 3.2.2) calculez la masse du noyau et du manteau.

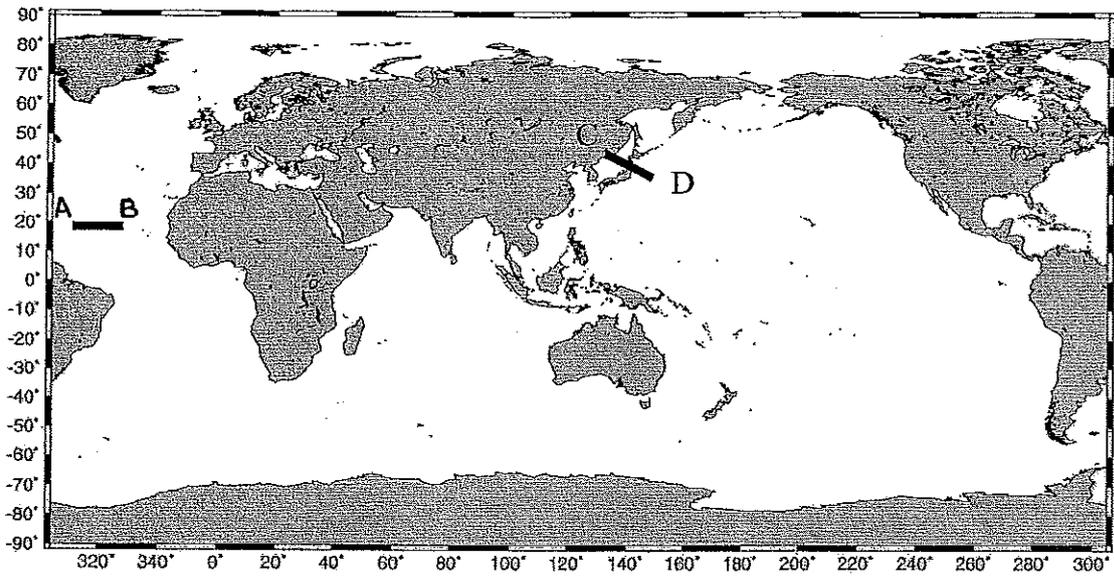
## IV. QUATRIEME PARTIE

---

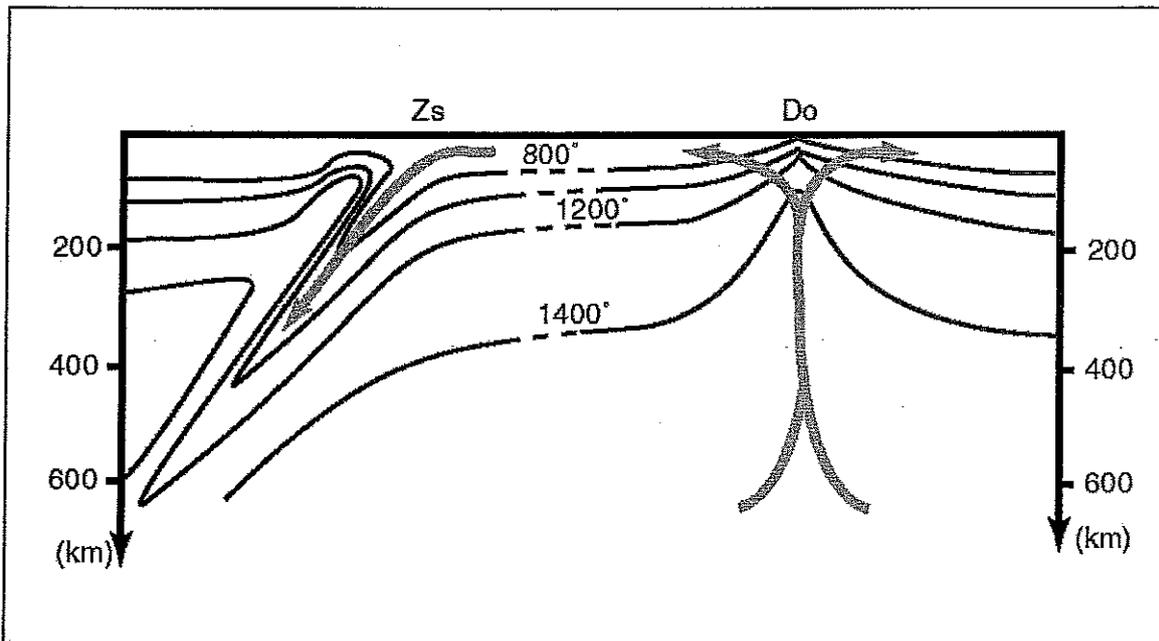
### **Structure et composition de la Planète Terre**

1. Sur une page, faites une coupe schématique des différentes enveloppes de la Terre en y reportant les principales données (nom, profondeur, état physique, composition chimique, etc.)
2. En vous aidant des résultats obtenus précédemment et de vos connaissances personnelles, récapitulez les principaux arguments scientifiques qui permettent d'établir cette coupe.

DOCUMENTS A REMETTRE AVEC VOTRE COPIE



Document 1



Document 2