

Filière BCPST

SCIENCES DE LA TERRE

Epreuve commune aux ENS de Paris, Lyon et Cachan

Durée : 3 heures

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé. Cependant, une seule calculatrice à la fois est admise sur la table ou le poste de travail, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats.

Partie 1: Flux de chaleur

- 1.1. Quelle est la principale source de chaleur interne de la Terre? Expliquez brièvement le principe de la production de chaleur par ce mécanisme.
- 1.2. Décrivez et commentez la carte globale du flux de chaleur d'origine interne (document 1).
- 1.3. Donnez les deux modes majeurs d'évacuation de la chaleur dans la Terre interne. Sur une coupe schématique de Terre, allant du centre à la surface, indiquez les lieux de prédominance de ces deux modes d'évacuation de la chaleur.
- 1.4. Tracez l'allure générale de la courbe température/profondeur dans la Terre (le geotherme), de la surface au centre, en indiquant des valeurs approchées de températures aux principales discontinuités.
- 1.5. Le manteau terrestre est-il majoritairement solide ou liquide? Comment le sait-on?

Partie 2: Lithosphère océanique

2.1. Réalisez une coupe schématique de la lithosphère océanique. Indiquez la croûte océanique, la lithosphère océanique, et figurez les principales unités pétrographiques.

2.2. Expliquez le principe général de la formation de la croûte océanique aux dorsales.

2.3. Donnez quelques exemples de tris géochimiques qui s'opèrent lors de la formation de la croûte océanique.

2.4. Le manteau supérieur de la Terre contient 0,05% d'eau en masse et l'eau est une entité chimique supposée parfaitement incompatible, c'est à dire qu'elle se partage totalement en faveur du liquide au détriment du solide. Calculez la teneur massique en eau dans la croûte océanique qui se forme aux dorsales. On utilisera un taux de fusion partielle du manteau terrestre de 10% en masse pour la formation de la croûte océanique. On supposera que lors de la formation de la croûte océanique, aucun échange ne se produit avec l'océan. Même question pour le Fe^{3+} contenu à 0,05% en masse dans le manteau et que l'on supposera également parfaitement incompatible.

2.5. Même question pour le Fe^{2+} contenu à 6% en masse dans le manteau et pour lequel le coefficient de partage entre solide et liquide est donné par:

$D = (\text{Fe}^{2+})_{\text{liquide}} / (\text{Fe}^{2+})_{\text{solide}} = 1,1$ où $(\text{Fe}^{2+})_{\text{liquide}}$ et $(\text{Fe}^{2+})_{\text{solide}}$ sont des concentrations massiques de Fe^{2+} dans le liquide et dans le solide, respectivement.

2.6. Calculez les quantités annuelles d'eau, de Fe^{2+} et de Fe^{3+} extraites du manteau supérieur lors de la formation de la croûte océanique. La longueur totale des dorsales est de 50 000 km et le taux d'expansion océanique moyen est de 3 $\text{cm}\cdot\text{an}^{-1}$. Épaisseur de la croûte océanique : 7 km. Masse volumique de la croûte océanique : 2900 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

2.7. Expliquez à quel moment et par quel mécanisme les roches de la croûte océanique sont susceptibles d'acquérir l'aimantation qui sera observée sur les fonds océaniques.

2.8. L'exploration spatiale de la planète Mars a permis l'enregistrement d'un signal magnétique lors du survol des terrains martiens âgés de plusieurs milliards d'années (document 2), alors qu'aucun champ magnétique significatif n'est actuellement créé dans cette planète. Quelles ressemblances constatez vous avec le signal observé sur les fonds océaniques sur Terre? Quelles interprétations possibles déduisez vous de cette observation pour le fonctionnement géologique de la planète Mars?

Partie 3 : Hydrothermalisme océanique

3.1. Définissez l'hydrothermalisme océanique. Où sur le fond des océans se produit il principalement?

3.2.

a. Sachant que la teneur massique en eau de la croûte océanique est d'environ 6% à partir de 100 kilomètres de la dorsale, puis ne varie pratiquement plus au delà, en s'éloignant de la dorsale, estimez la quantité annuelle d'eau transférée chaque année de l'océan à la croûte océanique par l'hydrothermalisme océanique. On se servira de valeurs numériques données dans la partie 2. On négligera les apports sédimentaires à la croûte océanique.

b. Décrivez une transformation minéralogique dans la croûte océanique, conséquence de ce transfert d'eau de l'océan vers la croûte océanique.

c. Sachant que la masse de l'océan est de $1,4 \cdot 10^{21}$ kg, quelle serait la durée de vie de l'océan terrestre si ce processus était le seul à intervenir dans les échanges entre l'océan et la Terre solide?

d. Quel processus géodynamique permet alors de conserver d'importantes masses d'eau à la surface de la Terre à l'échelle des temps géologiques? Décrivez ce processus au travers des objets et phénomènes géologiques qu'il produit. Sachant que la masse de l'océan reste à peu près constante au cours des temps géologiques, estimez la masse annuelle d'eau délivrée aux enveloppes terrestres externes par ce processus compensateur.

3.3.

a. Sachant que la concentration totale en fer est constante dans la croûte océanique alors que le rapport $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ passe à 0,33 à partir de 100 kilomètres de la dorsale, puis ne varie pratiquement plus au delà, en s'éloignant de la dorsale, estimez la quantité formelle molaire d'électrons libérés annuellement par l'hydrothermalisme océanique. On négligera les apports sédimentaires à la croûte océanique. On donne la masse molaire du fer = $55,8 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

b. Pour une fraction estimée à 90% du total, les électrons libérés par le Fe^{2+} des roches sous l'effet de l'hydrothermalisme océanique sont acceptés par le di-oxygène dissous dans l'eau. Écrivez et équilibrez la réaction d'oxydo-réduction correspondante.

c. Cette réaction d'oxydation est elle susceptible d'affecter les propriétés magnétiques de la croûte océanique? Pourquoi?

3.4.

a. Calculez la masse annuelle de di-oxygène transférée par cette réaction depuis les enveloppes fluides de la Terre jusqu'à la croûte océanique. On donne la masse molaire de l'oxygène = $16 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

b. Sachant que la masse de di-oxygène dans l'atmosphère est de $1,2 \cdot 10^{18}$ kg, quelle serait la durée de vie de l'oxygène atmosphérique si ce processus intervenait seul? Commentez.

c. Le processus régulateur envisagé à la question 3.2. pour l'eau ne peut pas agir pour l'oxygène. Proposez une explication.

d. Proposez un mécanisme permettant de réguler la quantité de di-oxygène dans les enveloppes externes fluides de la Terre.

3.5.

a. Décrivez brièvement des phénomènes biologiques associés à l'hydrothermalisme océanique. D'où provient l'énergie utilisée par cette biomasse?

b. Environ 10% de la quantité annuelle d'électrons calculée à la question 3.3 est utilisée pour réduire du dioxyde de carbone CO_2 au sein d'êtres vivants. Écrivez la réaction de réduction dans l'eau de CO_2 par le Fe^{2+} . On considèrera que la forme réduite du carbone issue de la réduction de CO_2 est le glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

c. Quelle catégorie d'organismes vivants est elle susceptible de faire cette réaction?

d. Calculez la quantité annuelle de biomasse mesurée en nombre de moles de carbone produite par ce processus dans l'hydrothermalisme océanique.

e. Comparez l'ordre de grandeur de cette quantité à l'ordre de grandeur de la biomasse produite chaque année par la photosynthèse.

f. Comparez cette quantité à l'ordre de grandeur de la quantité de dioxyde de carbone émise chaque année dans l'atmosphère par les activités humaines.

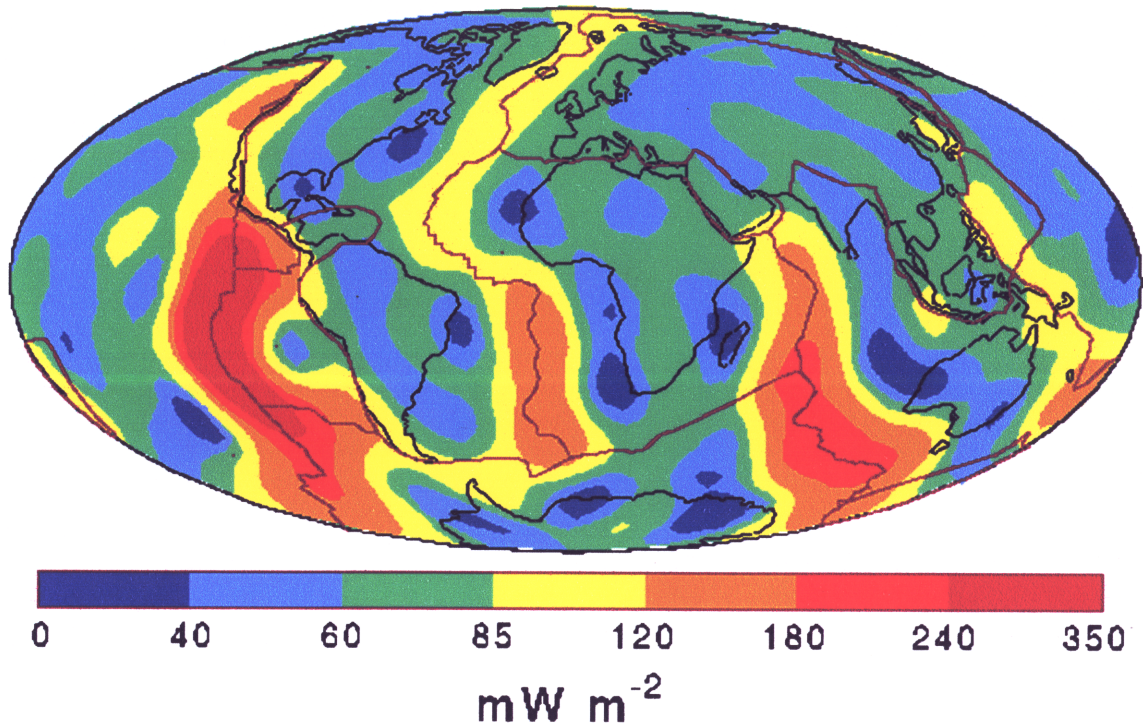
Partie 4 : Cycle du carbone

Présentez sous forme de diagramme les principaux éléments du cycle du carbone terrestre actuel. On indiquera les principaux réservoirs ainsi que les principaux processus et flux qui les relie. On fera particulièrement apparaître tous les processus mentionnés dans les parties 3.4 et 3.5.

Tournez la page S.V.P.

Document 1. Les valeurs du flux de chaleur (heat flow) sont cartographiées dans l'échelle de couleur donnée ci-dessous en mW m^{-2} .

Heat Flow



Document 2. Cartographie du champ magnétique (en nano Tesla, voir le code de couleur) associé aux roches de la surface de Mars. La latitude est en abscisse et la longitude en ordonnée. On remarque un grand nombre de zones (en différents tons de gris) qui n'ont pas été cartographiées par le satellite.

