

ÉPREUVE ÉCRITE DE SCIENCES DE LA TERRE

ENS : PARIS- LYON - CACHAN

Durée : 3 heures Coefficients : PARIS option bio. 2 / option géo.5
LYON option bio. 3 / option sdt. 5
CACHAN 2

MEMBRES DE JURY : I. DANIEL, F. GUYOT, V. LIGNIER, F. METIVIER, G. VIDAL

Ce document n'est pas un corrigé détaillé et rédigé. Il contient pour chaque question des éléments de réponse et, le cas échéant, quelques commentaires sur les réponses des candidats. Les candidats ont en général assez bien compris l'esprit de ce sujet qui consistait à montrer que l'hydrothermalisme océanique, mû par le flux de chaleur interne (Partie 1) au travers du magmatisme générateur de la croûte océanique (Partie 2), outre son rôle dans le cycle global de l'eau, correspond à un flux d'électrons de l'intérieur de la Terre vers la surface qui contribue à réguler l'oxygène atmosphérique et joue un rôle petit mais significatif dans le cycle global du carbone (parties 3 et 4). Les liens entre géologie et biologie ne sont généralement pas faits. Les calculs littéraux sont absents de la plupart des copies. Globalement et paradoxalement, ce sont les questions de cours qui sont les plus malmenées.

1.1. La radio-activité naturelle des roches. Des particules sont émises lors des désintégrations radioactives. Freiné dans la matière du manteau terrestre, ce mouvement se transforme en chaleur.

La relation entre radioactivité et dégagement de chaleur est en général ignorée, dans 90% des copies au moins. Comment la radioactivité peut se transformer en chaleur reste un mystère pour la plupart

1.2. Cette distribution est très hétérogène. On remarque essentiellement les zones de flux chaleur élevé; les dorsales océaniques Pacifique, Océan Indien, Atlantique, qui correspondent aux courants ascendants de la convection du manteau terrestre.

1.3. La convection et la conduction. Conduction dans la lithosphère jusqu'à environ 100 kilomètres de profondeur en moyenne; convection en dessous avec des couches limites conductives à 2900 km et éventuellement à 670 km de profondeur.

Dans de nombreuses copies, la localisation des zones conductives et convectives est surprenante. Beaucoup de noyaux externes conductifs. Importance surdimensionnée des couches limites

thermiques conductives.

1.4. Pente T-profondeur forte dans les zones conductives et faible dans les zones convectives. Environ 2000 K à la limite manteau supérieur/manteau inférieur (670 kilomètres), 4000 K à la limite noyau-manteau (2900 kilomètres), 5000 K à la limite noyau liquide/noyau solide.

Les ordres de grandeur de températures dans la Terre profonde restent en général peu connus.

1.5. Il est majoritairement solide. Il transmet les ondes sismiques de cisaillement (ondes S).

2.1. Croûte océanique d'environ 8 kilomètres d'épaisseur avec les niveaux de basaltes et de gabbros. Manteau lithosphérique avec la péridotite (éventuellement hartzburgites et lherzolites) d'environ 100 kilomètres d'épaisseur

La notion de lithosphère n'est encore trop souvent pas assimilée.

2.2. Lors de la remontée de matériel du manteau par convection ascendante, la fusion partielle du manteau solide se produit. Le liquide formé est un magma basaltique qui fait éruption sur le fond de l'océan (basalte en coussin) ou cristallise lentement plus en profondeur (gabbros). L'ensemble formé par ce liquide refroidi, de huit kilomètres d'épaisseur en moyenne, constitue la croûte océanique.

Le principe de la fusion partielle du manteau terrestre par décompression adiabatique dans des courants ascendants de la convection terrestre n'est toujours pas connu d'une majorité de candidats.

2.3. Les entités incompatibles, par exemple l'eau ou le sodium, se concentrent dans le liquide, c'est-à-dire dans la croûte océanique, aux dépens du solide, c'est à dire le manteau.

Il n'est pas clair pour la plupart des candidats que le tri géochimique affecte avant tout des éléments chimiques.

2.4. Si 10% de la masse de manteau initial fond et que cette fraction concentre la totalité de l'eau et du fer III, alors ces deux concentrations deviennent égales à 0.5% en masse.

2.5. $(\text{Fe}^{2+})_{\text{liquide}} = D * (\text{Fe}^{2+})_{\text{solide}} / (1 - (F/100) + D(F/100))$ où F est le taux de fusion partielle en %.
AN $(\text{Fe}^{2+})_{\text{liquide}} = 6.5\%$

Moins d'un tiers des candidats sait faire ce bilan de masse de base qui permet de décrire la distribution des éléments dans la fusion partielle

2.6. $50000 * 1000 * 0.06 * 7000 * 2900 * 0.005 = 3.0 \cdot 10^{11}$ kg d'eau par an

$50000 * 1000 * 0.06 * 7000 * 2900 * 0.065 = 3.96 \cdot 10^{12}$ kg de Fe(II) par an

$50000 * 1000 * 0.06 * 7000 * 2900 * 0.005 = 3.0 \cdot 10^{11}$ kg de Fe(III) par an

Peu de candidats reconnaissent qu'un facteur deux doit être appliqué pour tenir compte de la

création de croûte symétriquement par rapport à la dorsale.

2.7. Lors du refroidissement de la lave basaltique, la magnétite cristallise et acquiert son aimantation lorsque la température passe sous le point de Curie.

Trop de candidats pensent encore que le magnétisme dans une lave s'acquiert par orientation physique de cristaux dans un champ magnétique. Les notions de température de Curie et d'alignement de moments magnétiques, indépendamment de l'alignement de cristaux, lorsque le désordre thermique devient suffisamment faible, ne sont pas connus d'une majorité. Il est possible que le problème provienne d'une confusion avec l'acquisition du magnétisme des sédiments qui implique effectivement une rotation physique de cristaux lors du processus de sédimentation. On a souvent rencontré une confusion entre les termes ferromagnétique et ferromagnésien.

2.8. On observe des bandes alternées de polarités magnétiques alternativement positive et négative comme sur le plancher océanique des océans terrestres. Une interprétation possible est la suivante : il y a quelques milliards d'années, la planète Mars possédait un champ magnétique intrinsèque et la convection martienne produisait une expansion de la surface martienne. Par la suite, l'activité interne de la planète s'est modifiée : le champ magnétique s'est arrêté et la surface très ancienne n'est pas renouvelée par une tectonique des plaques

3.1. C'est un réchauffement de l'eau de l'océan par la chaleur interne terrestre. Il se produit principalement au niveau des dorsales.

3.2.

a. Chaque année, on forme : $50000 \times 1000 \times 0.06 \times 7000 \times 2900 = 6.09 \times 10^{13}$ kg de croûte océanique ce qui correspond à 3.0×10^{11} kg d'eau par an

A 100 km de la dorsale, cette croûte contient 6% d'eau ce qui correspond à 3.65×10^{12} kg d'eau. Il y a donc transfert de 3.35×10^{12} kg d'eau par an de l'océan à la croûte océanique.

b. La transformation de minéraux anhydres (par exemple pyroxènes) en minéraux hydratés (par exemple amphiboles).

c. $1.4 \times 10^{21} / 3.35 \times 10^{12}$. Environ 400 millions d'années.

d. Le volcanisme associé aux zones de subduction. Les zones de subduction sont associées à des zones sismiques (sismicité le long du plan de Benioff) et à du volcanisme souvent explosif (par exemple ceinture de feu du Pacifique). Environ 3.35×10^{12} kg d'eau par an

3.3.

a. Chaque année, on forme : $50000 \cdot 1000 \cdot 0.06 \cdot 7000 \cdot 2900 = 6.09 \cdot 10^{13}$ kg de croûte océanique, ce qui correspond à $3.96 \cdot 10^{12}$ kg de Fe(II) par an et à $3.0 \cdot 10^{11}$ kg de Fe(III) par soit un total de $4.26 \cdot 10^{12}$ kg de fer par an

A 100 km de la dorsale, on a $1.33 \text{ MFe(II)} = 4.26 \cdot 10^{12}$; donc masse de fer (II) = $3.20 \cdot 10^{12}$ kg et masse de fer (III) = $1.06 \cdot 10^{12}$ kg.

On a donc chaque année transformation de $(1.06 \cdot 10^{12} - 3.0 \cdot 10^{11}) = 7.6 \cdot 10^{11}$ kg de fer (II) en fer (III) soit conversion de $1.36 \cdot 10^{13}$ moles de fer

L'hydrothermalisme libère donc $1.36 \cdot 10^{13}$ moles d'électrons. par an

b. $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$

$\text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$

$4 \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ = 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{Fe}^{3+}$

c. Oui. Car les minéraux magnétiques contiennent du fer et cette oxydation va modifier leurs propriétés, voire créer de nouveaux minéraux magnétiques.

3.4.

a. $0.9 \cdot 1.36 \cdot 10^{13} = 1.22 \cdot 10^{13}$ moles d'électrons par an correspondent à $3.06 \cdot 10^{12}$ moles de di-oxygène par an soit $9.8 \cdot 10^{10}$ kg de O_2

b. $1.2 \cdot 10^{18} / 9.8 \cdot 10^{10} =$ environ 12 millions d'années

Il doit donc exister un mécanisme permettant d'assurer une production en excès d'oxygène afin de compenser ce phénomène à l'échelle des temps géologiques et maintenir le di-oxygène dans l'atmosphère .

c. L'oxygène lié au fer (III) n'est pas dissocié par le volcanisme de subduction et ne peut donc ainsi être restitué à l'atmosphère.

d. La sédimentation organique entraîne un excès de photosynthèse par rapport à l'oxydation de matière organique, ce qui produit un excès d'oxygène produit.

3.5.

a. Au fond des océans, près des dorsales, à proximité des émissions d'eau réchauffées par la chaleur interne terrestre, se développe une biomasse importante caractérisée en particulier par des densités importantes d'annélides et de mollusques de grandes tailles. L'énergie provient de l'oxydation des matériaux réduits profonds exposés à l'océan par l'hydrothermalisme.

Certains candidats pensent que c'est la chaleur qui est directement utilisée comme source d'énergie primaire pour cette biomasse. Un commentaire scientifique : la plupart des candidats répondent que la production primaire de biomasse repose sur l'utilisation de H_2S comme donneur d'électrons qui s'oxyde alors en S. Tous les points ont été attribués lorsque cette réponse a été faite. Il faut savoir néanmoins que, sur le plan de la recherche, l'importance relative des différents donneurs d'électrons

(H_2S , S^{2-} , H_2 , Fe^{2+}) est loin d'être établie quantitativement. Le plus vraisemblable est que ces différents métabolismes coexistent effectivement à proximité des fumeurs. Il faut noter néanmoins qu'une grande partie de H_2S , S^{2-} , H_2 sont produits ailleurs dans la cellule de convection hydrothermale, biologiquement ou pas, à partir des sulfates et d'eau par interaction avec le profond qui reste la source primaire majeure de matériaux réduits. D'où le parti pris choisi dans ce sujet.

b. $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+} + e^-$

$6 CO_2 + 24 H^+ + 24 e^- \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O$

$24 Fe^{2+} + 6 CO_2 + 24 H^+ = 24 Fe^{3+} + C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O$

c. Des procaryotes chimiolithoautotrophes

d. $0.1 \times 1.6 \times 10^{13}$ moles de C soient 1.6×10^{12} moles de C

e. C'est petit; environ 1 pour 10000

f. C'est petit; environ 2 pour 1000

4.

Principaux réservoirs : Carbonates solides, Matière organique sédimentaire, Océan, Biomasse vivante, Atmosphère .

Principaux processus et flux qui les relient : Photosynthèse, Oxydation de matière organique-respiration, Equilibre CO_2 /océan, Précipitation/dissolution des carbonates, Altération des roches, Sédimentation organique.

Processus mentionnés dans les parties 3.4 et 3.5 : Sédimentation organique, Chimiosynthèse autotrophe hydrothermale, Photosynthèse, Combustion humaine des combustibles fossiles.