

ULC 133

J. 5602

SESSION 2001

---

**Filière BCPST**

**SCIENCES DE LA TERRE**

---

( Épreuve commune aux ENS : Ulm, 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 travail, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats.*

**Tournez la page S.V.P.**

## PRÉAMBULE

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

## PREMIÈRE PARTIE

### Bilan du carbone dans le manteau terrestre

#### 1. Flux de carbone sortant du manteau au niveau des zones d'expansion océanique

Les laves émises au niveau des rides océaniques contiennent en moyenne 150 ppm de carbone (C) dissous sous la forme de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ). Certains échantillons, appelés 'popping rocks', prélevés au niveau de la ride médio-Atlantique, présentent des taux beaucoup plus élevés de carbone; ces laves se distinguent en effet par de nombreuses vésicules (17% du volume des échantillons) qui contiennent 95% de  $\text{CO}_2$ . Les 'popping rocks' contiennent ainsi en moyenne 4000 ppm de carbone. Nous utiliserons la teneur en C de ces derniers échantillons ( $C_L$ ) afin de calculer le flux de carbone sortant du manteau terrestre.

N.B. Rappelons qu'une partie par million (ppm) est une unité massique;  $1 \text{ ppm} = 10^{-4} \%$  en poids.

- Comment appelle-t-on les laves émises au niveau des zones d'expansion océaniques? Quelles sont leurs caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques?
- Justifiez que nous utilisons les échantillons les plus riches en C pour calculer le flux de C sortant du manteau. Comment peut-on expliquer la pauvreté en C de la plupart des laves?
- Calculez le volume ( $V_{co}$ ) et la masse ( $M_{co}$ ) de croûte océanique extraits annuellement du manteau. Il existe actuellement 60 000 km de dorsales océaniques à la surface de la Terre, la vitesse moyenne d'expansion des fonds océaniques est de  $5 \text{ cm.an}^{-1}$ . On prendra une épaisseur moyenne de 5 km pour la croûte océanique et une masse volumique de  $2900 \text{ kg.m}^{-3}$  pour les roches qui la constituent.
- Calculez alors le flux de carbone sortant du manteau ( $F$ ). De quel ordre de grandeur serait l'erreur que l'on commettrait sur l'estimation du flux de carbone sortant du manteau, si l'on utilisait la teneur moyenne en C des laves au lieu de la teneur maximale observée?

#### 2. Flux de carbone entrant dans le manteau

Au niveau de quel type de site géodynamique le carbone entre-t-il dans le manteau ? Vous explicitez sur un schéma les différents processus impliquant le carbone au niveau de ce site.

### 3. Le carbone dans le manteau terrestre

Les 'popping rocks' sont produites à l'aplomb des zones d'expansion océanique par fusion partielle du manteau supérieur, avec un taux de fusion moyen ( $f$ ) de 12%.

- Citez une preuve directe de l'existence de carbone dans le manteau terrestre.
- Calculez la teneur en C du manteau supérieur ( $C_M$ ) en faisant l'hypothèse que le carbone est un élément absolument incompatible, c'est-à-dire qu'il migre complètement dans la phase liquide lors de la fusion partielle.
- On peut affiner le calcul en prenant en compte le degré d'incompatibilité du carbone. Pour cela, on utilise le coefficient de partage du carbone ( $D$ ) entre le magma de concentration en carbone  $C_L$  et la roche qui n'a pas fondu, de concentration en carbone  $C_R$ ,  $D = C_R/C_L$ . A partir d'un bilan de masse, exprimez la teneur en carbone du manteau  $C_M$  en fonction de  $C_L$ ,  $D$  et  $f$ . Calculez  $C_M$  lorsque  $D = 0,005$  et comparez le résultat avec celui obtenu à la question précédente.
- Calculez la masse de carbone contenue dans le manteau supérieur, dont les roches constitutives ont une masse volumique moyenne de  $3,5 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ .
- Calculez le temps de résidence d'un atome de carbone dans le manteau supérieur ( $\tau_M$ ), en faisant l'hypothèse que les flux de carbone entrants et sortants se compensent. On définit le temps de résidence d'un élément dans un réservoir comme le rapport entre son abondance dans le dit réservoir et la moyenne des flux entrants et sortants.

## DEUXIÈME PARTIE

### Le carbone dans les enveloppes superficielles de la Terre: le puits océanique

L'atmosphère terrestre contient actuellement (en 2001) 750 Gt ( $10^9$  tonnes) de carbone, essentiellement sous la forme de  $\text{CO}_2$ , qu'elle échange avec les océans et les continents selon le schéma ci-dessous (Figure 1).

- A partir des flux présentés sur la figure 1, indiquez si le cycle atmosphérique du carbone est à l'état stationnaire. Vous justifierez votre réponse.
- Calculez alors les temps de résidence pré-industriel et actuel d'un atome de carbone dans l'atmosphère ( $\tau_A$ ), et comparez ce résultat à celui obtenu pour le manteau supérieur de la Terre.

**Tournez la page S.V.P.**

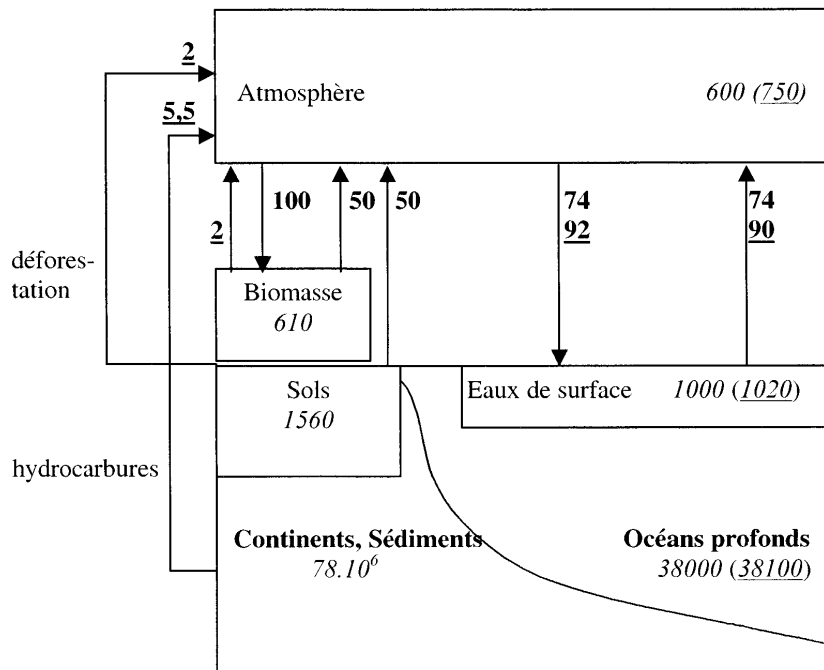


Figure 1: Cycle du carbone atmosphérique. Les valeurs en italique indiquent le volume des réservoirs en Gt de carbone, et les nombres en gras correspondent aux flux de carbone entre les réservoirs et sont exprimés en Gt.an<sup>-1</sup>. Tandis que les valeurs non soulignées représentent le cycle du carbone pré-industriel, les valeurs soulignées indiquent les valeurs actuelles qui ont été modifiées par les activités industrielles.

- On estime que les activités humaines ont contribué à augmenter la pression partielle atmosphérique en CO<sub>2</sub> de 10<sup>-3,54</sup> atm avant l'industrialisation à 10<sup>-3,45</sup> atm en 1990. En faisant l'hypothèse que (1) l'atmosphère et les eaux de surface sont à l'équilibre, (2) que l'espèce carbonatée dominante dissoute dans les eaux océaniques est HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, et (3) que le pH des océans est de 8,1, calculez les concentrations en hydrogénocarbonate dissous des eaux océaniques à ces deux époques. La constante d'équilibre (loi de Henry) entre fraction gazeuse CO<sub>2</sub> et dissoute H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> est K<sub>H</sub> = 10<sup>-1,5</sup> mol.L<sup>-1</sup>.atm<sup>-1</sup>. On donne également la constante d'acidité du couple H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>/HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pK<sub>a</sub> = 6,3.
- Les océans couvrent une superficie de 361.10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> à la surface de la Terre, et l'épaisseur de la tranche d'eau superficielle qui est à l'équilibre avec l'atmosphère est estimée à 400 m. Calculez alors la masse de carbone dissoute dans les eaux superficielles actuellement et avant l'industrialisation.
- En estimant que les activités humaines rejettent du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère depuis 130 ans, commentez ce résultat à la lumière de la figure 1.

### TROISIÈME PARTIE

#### L'effet de serre sur les planètes telluriques, Vénus et la Terre

La loi de Stefan-Boltzman indique que tout 'corps noir' porté à une température  $T$  émet une puissance  $B$  par unité de surface:

$$B = \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4} \text{ (constante de Stefan-Boltzman)}$$

Nous allons utiliser cette loi pour calculer la luminosité du soleil, ainsi que le rayonnement des planètes.

1. Calculez la luminosité  $L$ , i.e. la puissance totale, émise par le soleil. La température de surface du soleil  $T_S = 5790 \text{ K}$ . Le rayon du soleil  $R_S = 6,9 \cdot 10^5 \text{ km}$ .
2. À une distance  $d$  du soleil, la luminosité du soleil est rayonnée de façon isotrope. Calculez l'énergie incidente  $E_i$  reçue par la Terre et Vénus, qui sont situées respectivement à  $149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$  et  $108,2 \cdot 10^6 \text{ km}$  du soleil en moyenne. Le rayon équatorial de Vénus est de  $6051 \text{ km}$ .
3. Calculez à présent l'énergie solaire  $E_a$  effectivement absorbée par ces deux planètes. Les albédos terrestres  $A_T$  et vénusiens  $A_V$  valent respectivement  $0,30$  et  $0,65$ .
4. Calculez alors la température d'équilibre  $T_e$  de la Terre et de Vénus, en considérant ces planètes comme des 'corps noirs'.
5. Comparez les températures d'équilibre des deux planètes avec leurs températures moyennes de surface. Expliquez pour chacune des planètes l'origine de la différence entre la température d'équilibre et la température de surface. La température moyenne de la surface vénusienne est  $750 \text{ K}$ .

**Tournez la page S.V.P.**

## QUATRIÈME PARTIE

### Répartition des sédiments carbonatés

Commentez la carte de répartition des sédiments carbonatés à la surface de la planète (figure 2) en vous attachant à identifier les facteurs physicochimiques qui gouvernent cette répartition.

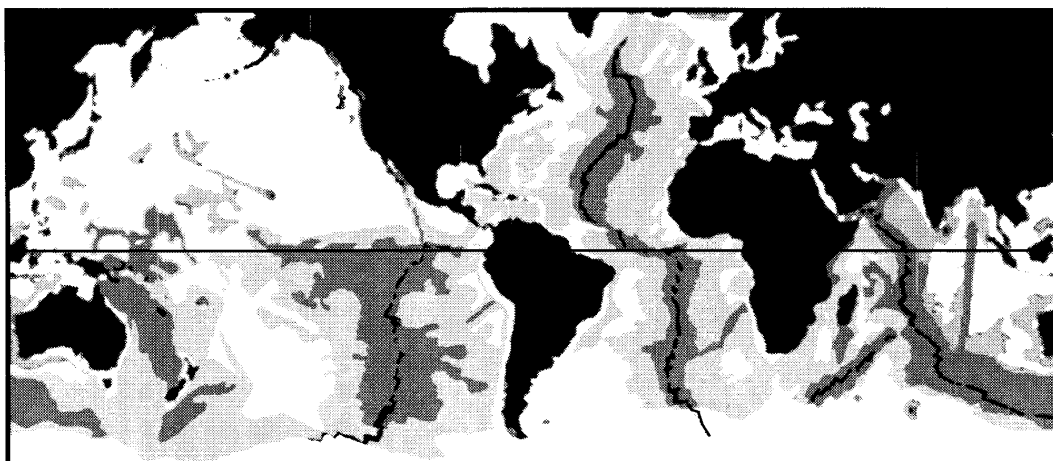


Figure 2: Répartition mondiale des faciès sédimentaires pélagiques carbonatés dans les océans actuels. Les continents figurent en noir ainsi que les îles et les dorsales océaniques. Les zones en gris sombre reçoivent des sédiments calcaires biogènes, tandis que les zones en gris clair sont recouvertes de boues calcaires argileuses contenant moins de 60% de carbonate de calcium. En blanc, les aires de sédimentation non carbonatées, et les formations des marges continentales.

## CINQUIÈME PARTIE

### Cycle global du carbone

A l'aide de l'ensemble des résultats que vous venez d'établir, et de vos connaissances, dessinez un schéma du cycle global du carbone en y reportant les réservoirs et les informations que vous estimerez les plus importants.