

84.06B

SESSION 2008

Filière BCPST

SCIENCES DE LA TERRE

Epreuve commune aux ENS de Paris, Lyon et Cachan

Durée : 4 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.

PRÉAMBULE

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

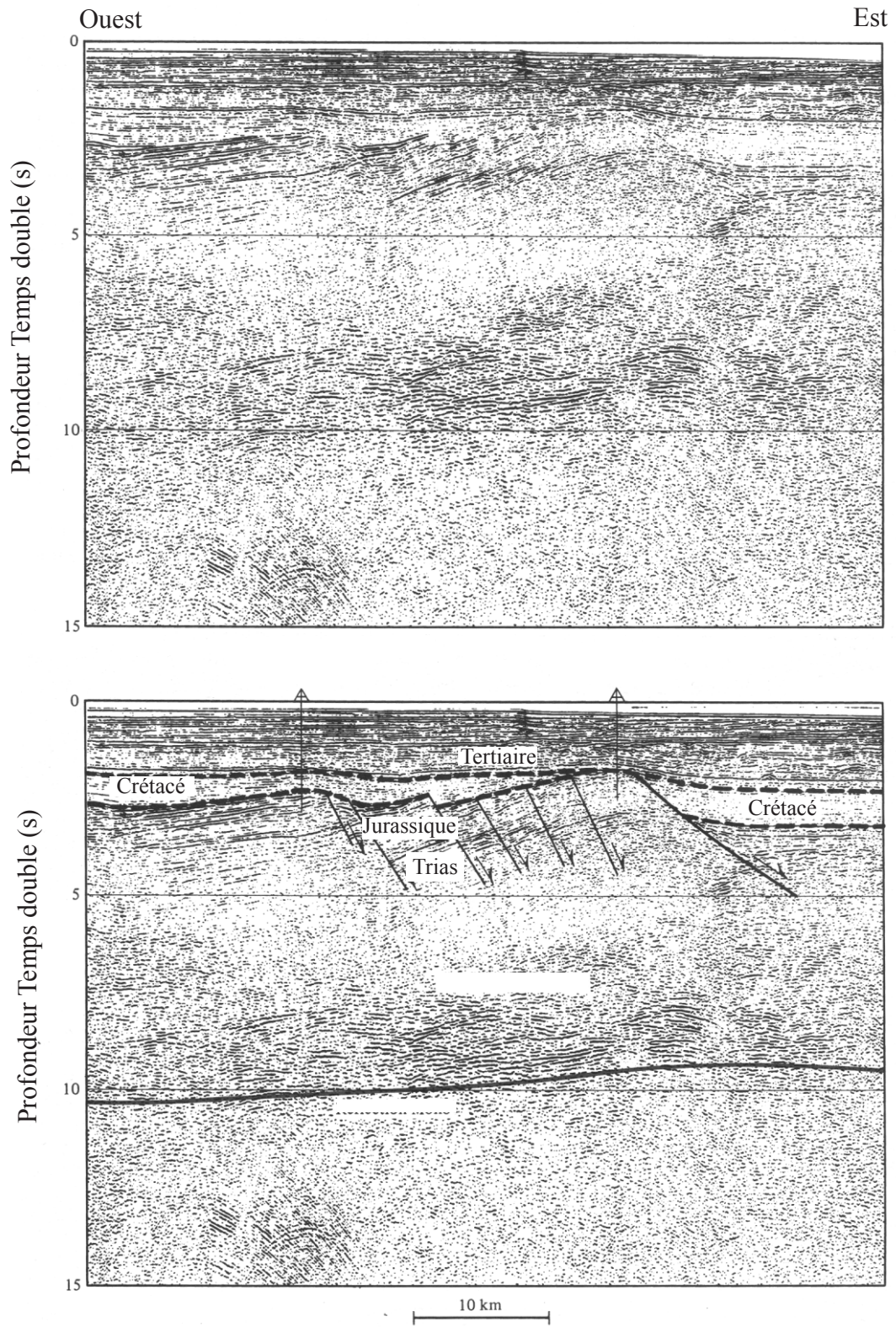


FIGURE 1

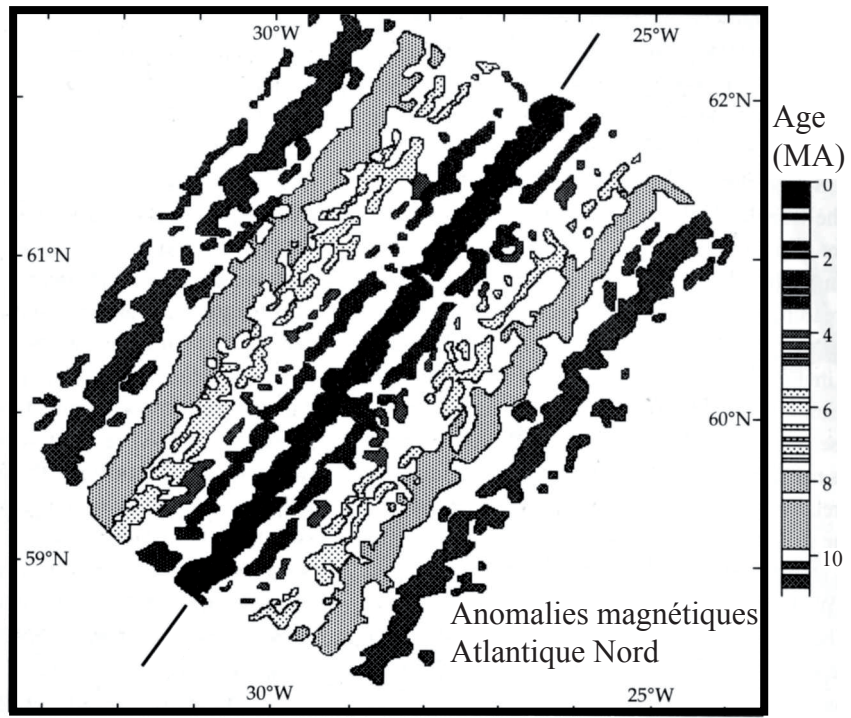


FIGURE 2

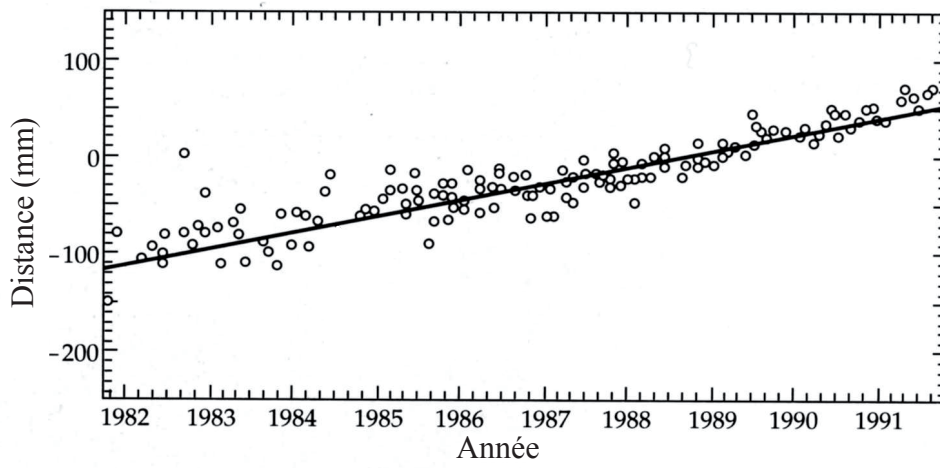


FIGURE 3

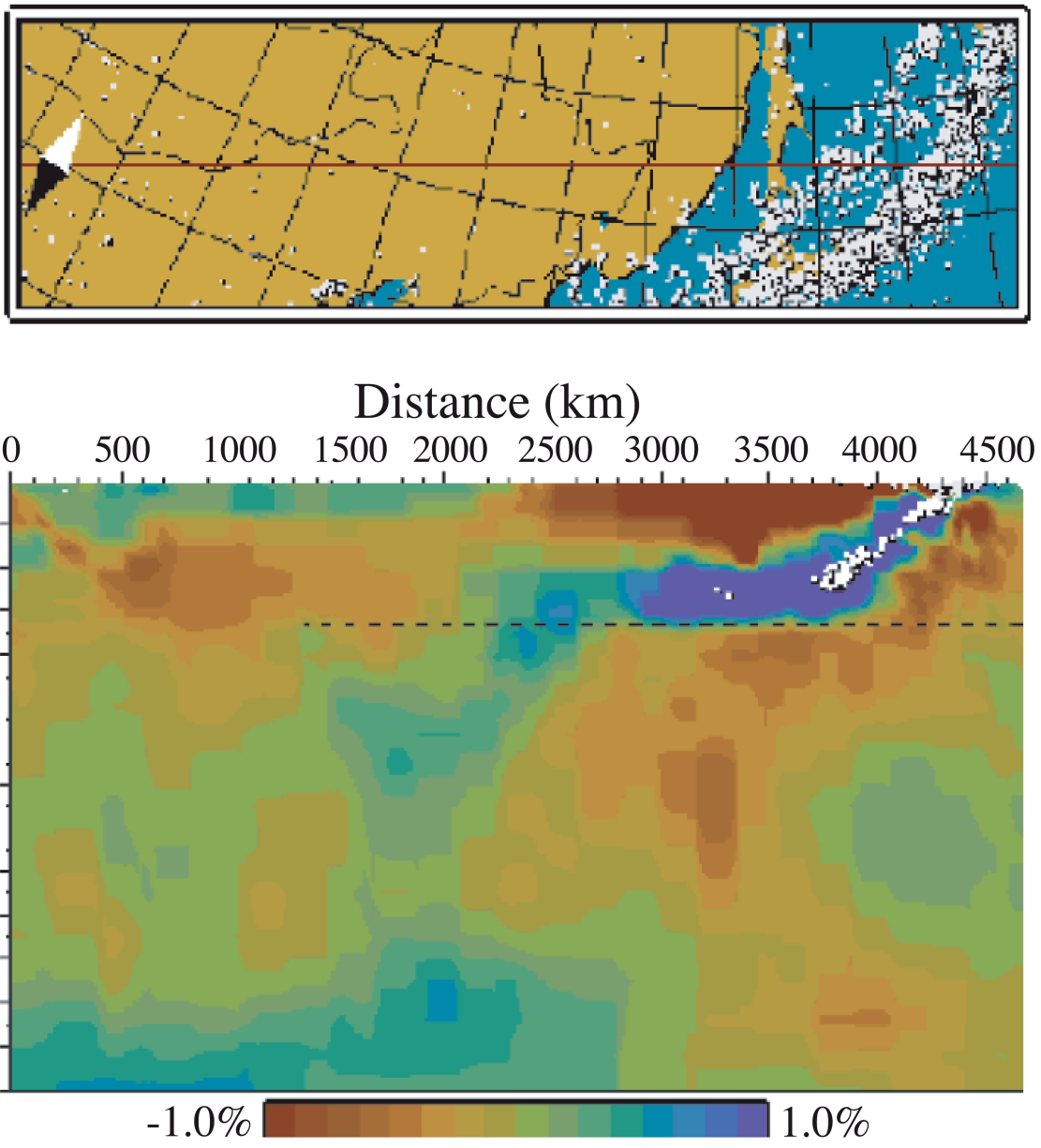
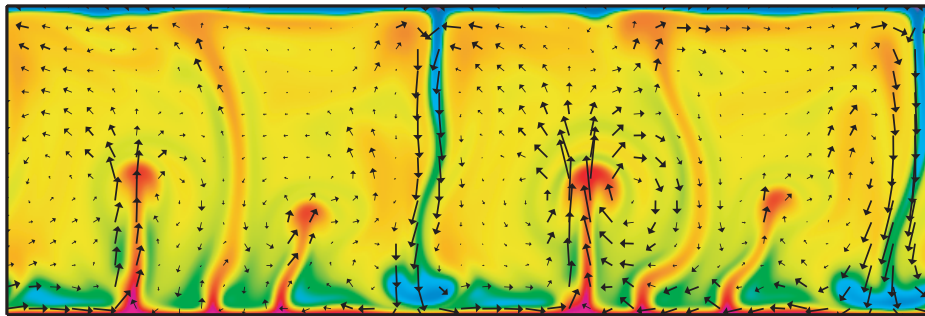


FIGURE 4



FIGURE 5

Champ de température et champ de vitesses



Champ de température

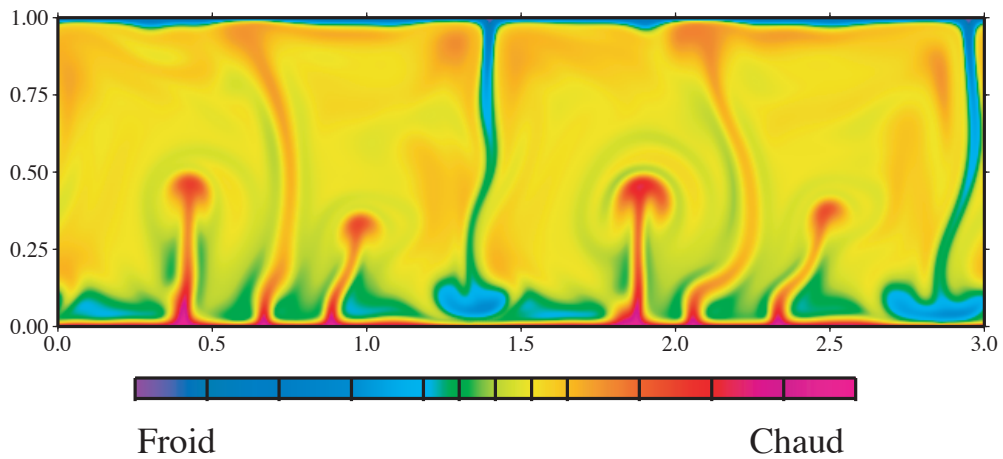


FIGURE 6

PREMIÈRE PARTIE

La dynamique de la lithosphère

1. Les plaques lithosphériques :

La tectonique des plaques décrit le mouvement des plaques lithosphériques à la surface du globe.

- a. Comment peut-on définir la lithosphère ?
- b. Comment définit-on les plaques ?
- c. Les limites de plaques : à l'aide de schémas, représenter les types de frontière de plaques et mentionner les manifestations des activités telluriques qui les caractérisent éventuellement.
- d. Le document A (à rendre avec votre copie) donne la localisation des épicentres des séismes de magnitude >5 enregistrés entre 1963 et 1998. Identifier sur le document les plaques tectoniques majeures en soulignant leurs limites en utilisant un figuré différent en fonction de la nature de ces limites.
- e. Résumer par un schéma comparatif les caractéristiques pétrologiques et structurales des lithosphères continentales et océaniques (parties crustale et mantellique).
- f. Que représente le document de la figure 1 ? Commentez son interprétation et l'évolution tectonique qu'elle illustre.

2. Le mouvement des plaques :

- a. Donner deux arguments avancés à l'époque de Wegener à l'appui de sa théorie de la dérive des continents.
- b. La figure 2 représente en niveau de gris des « anomalies » du champ magnétique de part et d'autre de la dorsale atlantique en fonction de l'âge des terrains en millions d'années. Comment interprète-on ces anomalies ? Quels sont les noms des chercheurs à l'origine de leur découverte ?
- c. La figure 3 donne la distance entre l'Amérique du Nord et la Suède mesurée au travers de l'Atlantique au cours du temps. Comment sont obtenues ces valeurs ? Calculer la vitesse moyenne de ce déplacement. Comment peut-on l'interpréter ?
- d. À partir de la colonne d'âge stratigraphique de la figure 2, déterminer un taux d'expansion océanique (sur la carte, 1 degré de latitude = 111 km et 1 degré de longitude \approx 54 km). Comment se compare-t-il au résultat précédent ?
- e. La vitesse d'expansion typique dans le Pacifique est supérieure à 10 cm/an. Pourquoi cette valeur est-elle plus élevée que pour l'Atlantique ?

3. La profondeur du plancher océanique :

a. La profondeur du plancher océanique augmente en fonction de la distance à la dorsale comme la racine carrée de l'âge de la croûte. Expliquer cette évolution à l'aide d'un schéma .

b. L'évolution de la température moyenne de la lithosphère est donnée par l'équation de la chaleur,

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2},$$

où ρ est la masse volumique, C_p la capacité calorifique, en J/kg, k la conductivité des roches, en J/m/s, $T(t,z)$ la température (dépend du temps t et de la profondeur z).

Pour se donner une première idée de la solution de cette équation, on se livre à une analyse aux dimensions. Pour cela, on réalise tout d'abord un changement de variables en remplaçant la variable $T(z,t)$ par une variable $T^*(t^*,z^*)$, définie par $T^*=T/\Delta T_0$, $z^*=z/h$ et $t^*=t/\tau$ où ΔT_0 est la différence de température entre le haut et le bas de la lithosphère, h est l'épaisseur de la lithosphère et t est son âge. En faisant le changement de variable, réécrivez l'équation précédente sous la forme

$$\frac{\partial T^*}{\partial t^*} = K \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}}.$$

Donnez l'expression de la constante K qui apparaît dans la nouvelle équation en fonction des paramètres physiques du problème. Quelles sont ses dimensions ?

L'analyse aux dimensions est correcte si les termes de l'équation sont d'ordre 1, et donc si $K \approx 1$. En déduite une formule donnant l'échelle de l'épaisseur moyenne h de la lithosphère en fonction de son âge τ et de C_p , ρ et k .

c. Quel est l'âge maximum rencontré pour une lithosphère océanique ? Pourquoi n'y a-t-il pas de lithosphère océanique plus vieille que cet âge ? D'après la formule de la question précédente, quelle est l'épaisseur de la lithosphère océanique à cet âge (on prendra $k=1$ J/m/s et $C_p=10^3$ J/kg) ?

d. La profondeur des océans varie typiquement de -2500 m au droit de la dorsale à -6000 m près d'une zone de subduction. Sachant que la différence de densité entre la lithosphère et l'asthénosphère peut être estimée à 66 kg/m³ (à partir d'un modèle thermique), calculer dans l'hypothèse de l'équilibre isostatique l'épaisseur de la lithosphère près de la subduction. Comment ce résultat se compare-t-il au précédent ?

4. L'enregistrement sédimentaire de la dynamique de lithosphère océanique :

À partir d'un schéma représentant une colonne sédimentaire dans un forage théorique réalisé dans une plaine abyssale, expliquer de façon synthétique, en utilisant des arguments chimiques notamment, en quoi la succession des sédiments rencontrés depuis le toit basaltique vers la surface est un témoin de la mobilité de la lithosphère océanique.

5. La convection et le moteur de la tectonique des plaques :

- a. Quel est l'origine interne de la tectonique des plaques ?
- b. D'où provient l'énergie interne du globe ; quel est son ordre de grandeur ?
- c. Certaines études ont montré qu'une zone à faible viscosité sous la lithosphère joue un rôle important dans les systèmes convectifs présentant une tectonique des plaques. Cette zone se traduit sur Terre par une faible vitesse de propagation des ondes sismiques. Comment peut-on l'expliquer ?
- d. Les zones de subduction correspondent au plongement d'une plaque océanique dans le manteau et sont une partie motrice dominante du système convectif. Pourquoi cette plongée a-t-elle lieu ? La figure 4 est une image tomographique d'une zone de subduction. Comment peut-on interpréter les anomalies de vitesse sismique sur cette image ?
- e. Pourquoi n'y a-t-il pas d'indices de tectonique des plaques sur Mars, sur Venus ?

DEUXIÈME PARTIE

Quelques implications pour les risques naturels

1. Les séismes de zones de subduction :

Un des risques naturels majeurs d'origine géologique à la surface du globe est représenté par les grands séismes des zones de subduction.

- a. Réaliser un schéma synthétique représentant la répartition des séismes attendus dans une zone de subduction en représentant les mécanismes aux foyers leur correspondant.
- b. Un modèle physique simple pour les séismes :

Au premier ordre, on peut modéliser une faille comme un ressort de constante k , couplé à un patin caractérisé par un frottement solide f_s . Un séisme se produit dans un tel modèle lorsque la force de rappel exercée par le ressort devient supérieure à f_s et induit le déplacement des blocs séparés par la faille.

Pendant la période séparant deux séismes, on note v la vitesse de déplacement entre les deux blocs de part et d'autre de la faille. Comment s'écrit la force de rappel en fonction du temps t et de v ? En déduire en fonction de f_s le temps de récurrence des séismes sur la faille.

Qu'est-ce qui gouverne les valeurs de v et de f_s pour une faille donnée ?

2. Le volcanisme explosif :

Le volcanisme explosif, qui produit notamment les Nuées ardentes, est le second risque géologique majeur des zones de subduction.

- a. La composition des magmas de subduction se caractérise par une grande richesse en eau et une forte viscosité liée à sa forte teneur en silice. À partir de schémas précis, expliquer les raisons thermodynamiques et géologiques de cette composition particulière par rapport aux basaltes de dorsales.

- a. Un modèle physique simple pour les volcans explosifs :

Au premier ordre, on peut modéliser un panache volcanique (celui de l'éruption du Mont St Helens en 1980 est représenté figure 5) comme un jet de gaz turbulent, décrit par une vitesse verticale moyenne U et un rayon R évoluant tout deux en fonction de z la distance verticale au dessus de l'évent.

Les dangers représentés par ce type de volcan dépendent de son débit, $Q(z)=UR^2$. Pour calculer ce débit, on utilise un résultat obtenu en laboratoire sur des jets turbulents, qui établit que le débit augmente en fonction de la quantité d'air ingéré par les tourbillons à la périphérie du jet. Le taux d'entraînement est lui même fonction de l'énergie turbulente dans le jet, $M(z)=U^2R^2$, supposée constante si on néglige la différence de densité entre l'air ambiant et le panache. Les équations d'évolution pour le jet sont alors

$$\frac{d(UR^2)}{dz} = 2\alpha UR,$$

$$\frac{d(U^2R^2)}{dz} = 0.$$

avec α une constante.

Résoudre les équations précédentes pour obtenir le débit du jet en fonction de z , U_0 et R_0 les valeurs de la vitesse et du rayon en $z=0$ (à l'évent).

Montrer comment la mesure de $R(z)$ permet d'obtenir le paramètre α . Estimer α d'après la figure 5 (échelle de la figure : 1 cm = 50 m).

Le jet volcanique transporte des fragments de magma qui ont une vitesse de chute dans l'air $U_s=1$ m/s. À quelle valeur de $U(z)$ le jet ne va-t-il plus être capable de transporter les fragments et va alors s'effondrer ?

Déduire de la question précédente la hauteur atteinte par un jet de rayon initial 5 m et de vitesse initiale 100 km/h.

Lorsque le jet volcanique s'effondre il génère une nuée ardente qui dévale les pentes du volcans. Dans l'hypothèse de la chute libre, estimez la vitesse de cette avalanche.

TROISIÈME PARTIE

À la limite de la tectonique des plaques : le volcanisme de « Points chauds »

1. Le volcanisme de point chaud à l'appui de la théorie de la tectonique des plaques :

- a. Quel est le nom du volcan que l'on trouve à l'aplomb du point chaud le plus actif à la surface du globe ; quel est le nom du volcan d'un point chaud français ?
- b. Expliquer à l'aide d'un schéma en quoi le volcanisme de point chaud vient en appui de la théorie de la dérive des continents.

2. Le volcanisme de point chaud comme marqueur d'une deuxième échelle de convection dans le manteau :

- a. Donnez un argument d'origine géochimique démontrant que les laves de points chauds ne résultent pas de la fusion d'un matériau provenant du même réservoir mantellique que le manteau source des MORBs.
- b. Un modèle physique simple pour les points chauds :

Un point chaud peut être modélisé comme une remontée de matière chaude depuis une source ponctuelle profonde, probablement liée à la couche D''. On considère un modèle de premier ordre, dit modèle de panache, où un point chaud correspond à une anomalie de température transportée sous la forme d'un cylindre (conduit) de rayon a . On cherche ici à relier l'anomalie de température à la vitesse de remontée du panache.

- La température du panache affecte sa masse volumique par dilatation thermique. Pour quelle raison physique la densité affecte-elle alors la vitesse de remontée du panache ?

- L'autre paramètre qui affecte la vitesse de remontée du panache est la viscosité des matériaux. Quelle est sa valeur typique pour le manteau terrestre ; comment est-elle obtenue ?

- Le bilan entre force de poussée et force de frottement à l'intérieur du panache s'écrit

$$\rho g \alpha \Delta T = -\mu \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dV}{dr} \right).$$

avec α le coefficient de dilatation thermique, ρ la densité, ΔT l'anomalie thermique dans le panache, $V(r)$ la vitesse verticale et μ la viscosité. Intégrer cette équation de $r=0$ à r , puis de $r=a$ à $r=0$ pour en déduire l'expression de la vitesse de montée du panache V_0 en $r=0$, en fonction de ΔT et de a .

- Faire l'application numérique de votre formule pour $\alpha = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, $\Delta T = 300 \text{ K}$, $a = 100 \text{ km}$ et $\mu = 10^{19} \text{ Pa s}$.

- Comment cette valeur se compare-t-elle aux vitesses des plaques lithosphériques et quelles réflexions cette comparaison vous inspire-t-elle par rapport à la question 1b de cette partie ?

3. Modélisation de la convection

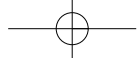
L'image de la figure 6 présente le résultat d'une simulation numérique d'un système en convection.

Quelles sont les différences majeures avec ce qui est attendu pour la Terre ?

QUATRIÈME PARTIE

Synthèse : la tectonique des plaques et la convection dans la Terre

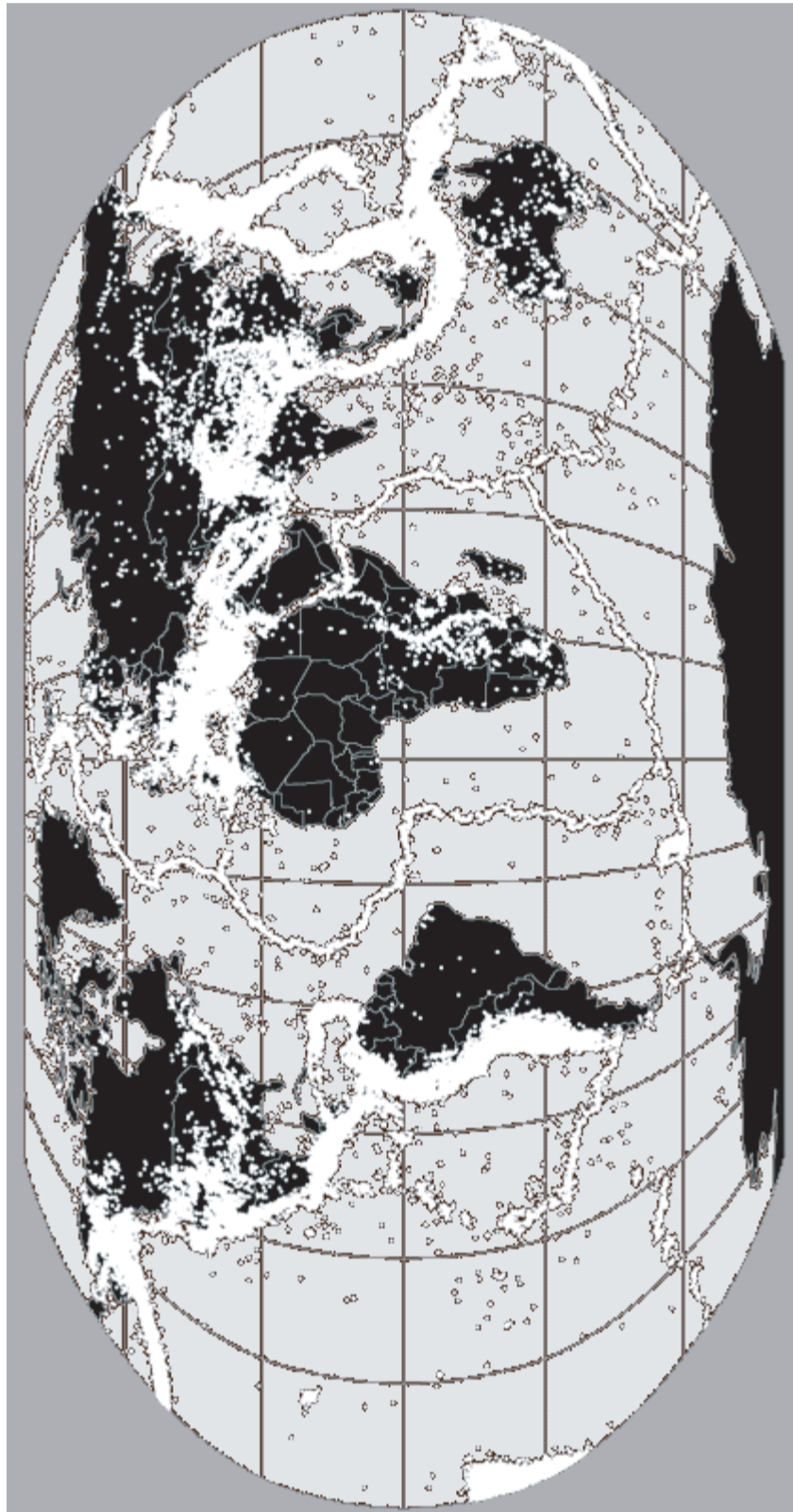
À la lumière des résultats obtenus dans les parties précédentes et de vos connaissances de cours, réaliser un schéma présentant les phénomènes de convection dans la Terre interne en replaçant dans ce cadre les manifestations majeures de la tectonique des plaques.



DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

Académie : _____ Session : _____ Modèle EN. _____
Examen ou Concours _____ Série* : _____
Spécialité/option : _____ Repère de l'épreuve : _____
Épreuve/sous-épreuve : _____
NOM : _____
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)
Prénoms : _____ N° du candidat
Né(e) le : _____ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)



DOCUMENT A *(à rendre avec votre copie)*

