

UE de Physique de la Terre 1, cours « Sismologie »,  
Partiel de novembre 2008

Master de sciences de la Terre, M1, ENS Lyon.

Documents autorisés : aucun. Durée : 2 h.

— o —

**1.** [3 points]<sup>(a)</sup> Les séismes. (< 20 lignes)

**2.** [2] Expliquer ce qu'est un diagramme de radiation. On pourra prendre l'exemple d'une faille en décrochement. (< 15 lignes)

**3.** [2] Quel type d'onde voit-on arriver sur chacune des composantes d'un sismomètre ? expliquer. (< 20 lignes)

**4.** [3] On donne la définition  $K_S = -V \frac{\partial P}{\partial V} \Big|_S$ . Expliquer cette relation (< 5 lignes). Montrer l'équation des ondes de compression d'un liquide dans un tuyau (une dimension) (< 15 lignes). Le tuyau est fermé aux deux extrémités : montrer ce que cela impose sur la solution. (< 15 lignes)

**5.** [4] **Tomographie - Les plaques plongeantes**

Analyser les images de tomographie ci-dessous (fig. 1). Que peut-on déduire sur les plaques plongeantes ? A partir de vos connaissances en géodynamique donner le contraste moyen de température entre la plaque plongeante et le manteau. En comparant la distance parcourue par la plaque en surface et dans le manteau dire si cette différence a le temps de s'équilibrer pendant la descente de la plaque ? (< 15 lignes) Déduire de la figure un ordre de grandeur du coefficient  $\frac{\partial V_S}{\partial T} \Big|_P$  dans le manteau (< 15 lignes) puis comparer les influences de la pression et de la température sur la variation des vitesses sismiques en fonction de la profondeur dans le manteau. (< 15 lignes)

**6.** [6] **Condition de surface libre**

a) Une onde P arrive à la surface de la Terre avec un angle d'incidence  $i^1$ . Quelles sont dans le cas général les ondes transmises dans l'atmosphère ou réfléchies dans la Terre ? (< 5 lignes)

b) Calculer les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude correspondant ; on appellera milieu 1 la Terre, 2 l'atmosphère, et on fera l'hypothèse simplificatrice  $\mu_1 = 0$ . On considérera des ondes planes harmoniques de même fréquence qu'on notera par exemple :

$$\vec{u}^1(\vec{x}, t) = \vec{U}^1 e^{i(\vec{k}^1 \cdot \vec{x} - \omega t)}, \quad \vec{u}'^1(\vec{x}, t) = \vec{U}'^1 e^{i(\vec{k}'^1 \cdot \vec{x} - \omega t)}, \quad \vec{u}^2(\vec{x}, t) = \vec{U}^2 e^{i(\vec{k}^2 \cdot \vec{x} - \omega t)}. \quad (1)$$

---

<sup>(a)</sup>Le total des points est > 20.

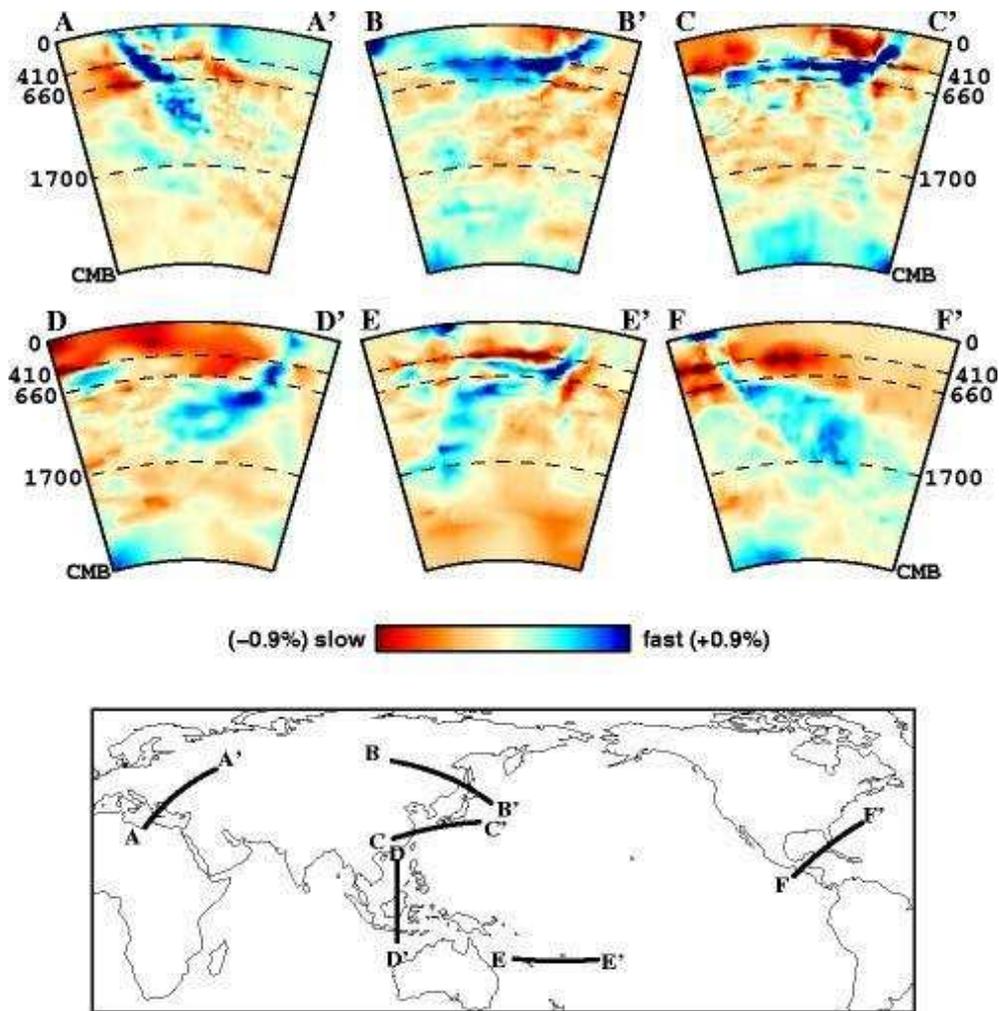


FIG. 1 – Variations latérales de vitesse (haut) suivant les coupes indiquées sur la carte (bas). Source : Karason, H., and Van der Hilst, R.D., 2000, Constraints on mantle convection from seismic tomography, In : The History and Dynamics of Global Plate Motion, Richards, M.R., Gordon, R., and Van der Hilst, R.D. (Eds.), Geophysical Monograph (AGU, Washington, D.C.), v. 121, p. 277-288.

On rappelle l'expression des contraintes élastiques en milieu isotrope :

$$\sigma_{ij} = \lambda(\partial_k u_k)\delta_{ij} + \mu(\partial_i u_j + \partial_j u_i). \quad (2)$$

c) En déduire les coefficients de réflexion et de transmission en contrainte.

d) Calculer numériquement le rapport de l'impédance de l'air sur celle de la croûte avec, pour la croûte terrestre :

$$K = \lambda + 2\mu/3 = 52 \text{ GPa} \quad \rho = 2700 \text{ kg.m}^{-3}, \quad (3)$$

et pour l'atmosphère :

$$K = 130 \text{ kPa} \quad \rho = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}. \quad (4)$$

e) Montrer que dans ce cas  $\cos i^2 / \cos i^1 > 1$  ( $i^2$  angle d'incidence de l'onde transmise) et en déduire une approximation des coefficients de réflexion et de transmission. Conclure sur la condition « de surface libre » souvent utilisée pour la surface de la Terre.

### **7.** [7] Ondes de Rayleigh en milieu homogène

a) Quelles sont les caractéristiques principales des ondes de surfaces? (< 10 lignes)

Nous allons établir l'existence d'une onde de Rayleigh dans une Terre homogène et plate (demi-espace infini). On note  $Oz$  la direction verticale et  $z = 0$  le sol. On rappelle le théorème de décomposition de Helmholtz : soit un champ de vecteurs  $\vec{u}$  nul à l'infini, il existe d'uniques champs  $\varphi$ ,  $\vec{\psi}$ ,  $\vec{u}_p$  et  $\vec{u}_s$  nuls à l'infini tels que :

$$\vec{u} = \vec{u}_p + \vec{u}_s, \quad \text{avec} \quad \vec{u}_p = \text{grad}\varphi, \quad \vec{u}_s = \text{rot}\vec{\psi} \quad \text{et} \quad \text{div}\vec{\psi} = 0. \quad (5)$$

b) Rappeler l'équation de Navier-Stokes contrôlant le déplacement élastique  $\vec{u}$ . Montrer que  $\varphi$ ,  $\vec{\psi}$ ,  $\vec{u}_p$  et  $\vec{u}_s$  vérifient une équation d'onde.

c) Prenons  $\varphi = A(z)e^{i(kx-\omega t)}$ ; montrer que dans le cas qui nous intéresse  $A(z) = A_0e^{-Kz}$  avec  $K$  une quantité que l'on définira. Même chose avec  $\vec{\psi} = (0, \psi_y = B(z)e^{i(kx-\omega t)}, 0)$  et  $B(z) = B_0e^{-K'z}$ .

d) En déduire  $\vec{u}_p$  et  $\vec{u}_s$ , puis que le mouvement se fait dans un plan.

e) Calculer les contraintes verticales  $\sigma_{iz}$ , où  $i = x, y, z$ , en fonction de  $A_0$  et  $B_0$ .

f) En appliquant les conditions aux limites en surface donner la relation (un peu compliquée) qui lie  $k$  à  $\omega$ . Définir la vitesse  $V_R$  des ondes de Rayleigh. Donner la relation qui la lie à  $V_p$  et  $V_s$ . Commentaires.