

Introduction aux sciences de la Terre

Examen 2006

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

Documents autorisés : cours. 3 pages d'énoncé. Durée : 2 h

— o —

I. Sismique ($\sim 8/20$)

1. Indiquer en quelques lignes quelles types d'ondes sismiques existent dans la Terre.

2. Indiquer les principes de la détermination de la structure terrestre à l'échelle globale à partir des temps d'arrivée d'ondes sismiques.

On s'intéresse maintenant à l'exploitation d'une campagne sismique en mer. Une explosion au niveau d'un bateau est enregistrée par 96 capteurs de pression (hydrophones) espacés de 25 mètres. Ces enregistrements sont représentés en fonction du temps sur la figure 1.

3. Donner les expressions des temps d'arrivées $t(x)$ des trois ondes suivantes en fonction de la distance x au bateau : directe, réfléchi à la base de l'eau, et conique. On ne considère dans ce problème que la vitesse v des ondes P, et on suppose que les différents milieux rencontrés (eau, sédiment1, sédiment2...) sont plans et homogènes. Tracer ces trois courbes $t(x)$.

4. En exploitant les temps d'arrivée de la directe et de la conique, donner la profondeur d'eau, la vitesse du son dans l'eau et dans la première couche de sédiments. Pourquoi est-il ici malaisé d'utiliser l'onde réfléchi ?

II. Durée du jour ($\sim 12/20$)

Pour expliquer la variation séculaire de la durée du jour on supposera que la Terre tourne à vitesse angulaire Ω autour d'un axe fixe coïncidant avec l'axe polaire d'inertie. On note T la durée du jour, C et A les moments d'inertie polaire et équatorial de la Terre, $J_2 = (C - A)/MR^2$ son *aplatissement dynamique*. La Lune est supposée ponctuelle. Données :

$R = 6\,371$ km : rayon de la Terre $M = 6 \cdot 10^{24}$ kg : masse de la Terre

$G = 6,673 \cdot 10^{-11}$ m³ kg⁻¹ s⁻² : constante de gravitation

$C \equiv \alpha MR^2 = 0,331 MR^2$: moment d'inertie polaire

$(C - A)/C = 1/305$: ellipticité dynamique

$d = 60,3R$: distance Terre-Lune $m = M/81,3$: masse de la Lune

$d_S = 23\,500R$: distance Terre-Soleil $M_S = 333\,000M$: masse du Soleil.

1. Décrire succinctement la forme de la Terre causée par cette rotation axiale. On ne tiendra pas compte de cette forme dans la suite.

2. On suppose le système Terre-Lune isolé et la Lune dans le plan de l'équateur terrestre. Décrire succinctement la forme de la Terre causée par la présence de la Lune.

3. Pourquoi existe-t-il un moment (ou couple) de forces L exercé sur la Terre? Relier L aux variations de Ω et C ¹.

4. On observe une valeur de $\partial_t \Omega$ correspondant à une augmentation de la durée du jour de $\partial_t T = 2$ millisecondes par siècle. Comment peut-on mesurer cette variation?

5. On observe un éloignement de la Lune de 3,8 cm/an. Expliquer sa cause. Comment mesure-t-on cette variation? En écrivant le moment cinétique de la Lune et la loi de Kepler, exprimer l'éloignement de la Lune en fonction de $\partial_t \Omega$ (on négligera $\partial_t C$). La valeur observée de $\partial_t T$ est-elle compatible avec cet éloignement?

6. Effet de $\partial_t C$. L'observation indique que $\partial_t J_2/J_2 = -2,4 \cdot 10^{-8}/\text{an}$. Comment mesure-t-on ce paramètre? Quelles pourraient être les causes de cette variation? En supposant que $I = (2A + C)/3$ est constant, en déduire la valeur de $\partial_t C/C$. Est-ce que cet effet considéré seul ($L = 0$) augmente ou diminue la durée du jour? Donner la variation correspondante de la durée du jour en milliseconde par siècle.

7. Effet de L . On donne le potentiel gravitationnel de la Terre provenant de la déformation par la Lune :

$$W(r, \theta) = -\frac{GM}{r} - \frac{kGm}{d^3} \frac{R^5}{r^3} \frac{3 \cos^2 \theta - 1}{2} \quad (1)$$

avec r, θ deux coordonnées sphériques et $k = 0,245$ un facteur numérique représentant la déformation de la Terre. La Lune se trouve en $r = d$ et $\theta = 2,89^\circ$. Exprimer le moment des forces de la Terre sur la Lune et en déduire² que $L = m \partial W / \partial \theta$. En déduire l'expression de $\partial_t T$ (on négligera $\partial_t C$). Quelle est la valeur numérique correspondante de l'augmentation de la durée du jour? Et si on ajoute le Soleil?

— 0 —

Texte disponible à <http://frederic.chambat.free.fr/ens>

¹La Terre n'est plus supposée ici solide mais déformable; on supposera qu'il suffit alors de dériver le tenseur d'inertie pour traiter le problème.

²On rappelle que l'attraction s'écrit

$$\vec{g} = -\text{grad}W = -\frac{\partial W}{\partial r} \vec{e}_r - \frac{1}{r} \frac{\partial W}{\partial \theta} \vec{e}_\theta.$$

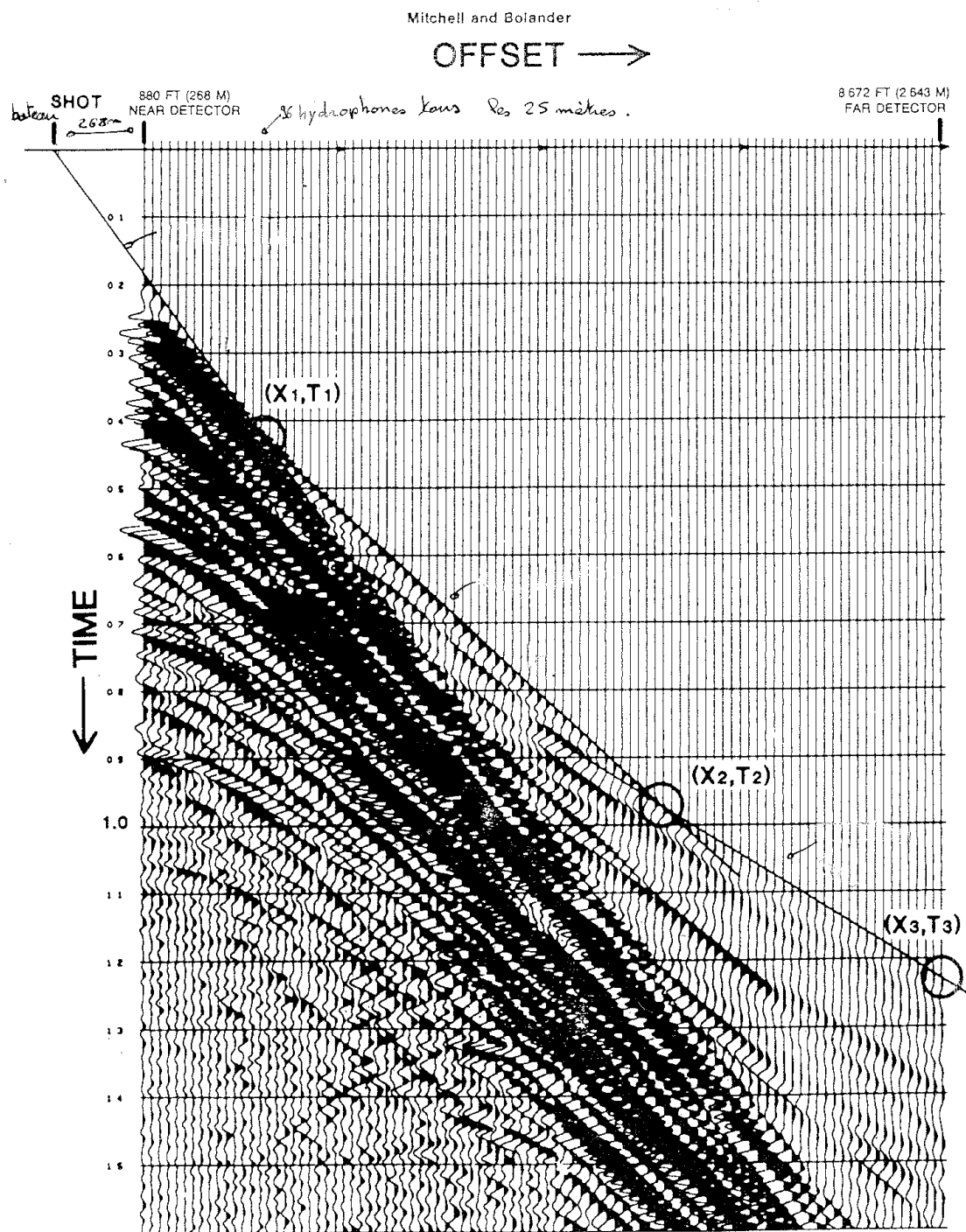


FIG. 2. A shot-ordered file. Straight lines are hand-fitted to first-arrival times, and hand-picked for computer input by their intersections (X_1, T_1) , etc. Streamer length was 2 400 m (7 874 ft).