11/2006 Nouvelle Calédonie — Calculatrice interdite

EXERCICE I : UN SÉISME DANS LE JURA (5,5 points)

Les données et les informations utilisées dans cet exercice sont issues des sites Internet du Réseau National de Surveillance Sismique (RéNaSS) et de l'École et Observatoire des Sciences de la Terre (EOST) : http://renass.u-strasbg.fr et http://eost.u-strasbg.fr

Le 23 février 2004, un séisme de magnitude 5,1 selon le Réseau National de Surveillance Sismique s'est produit à Roulans (dans le département du Doubs), à 20 km au nord-est de Besançon. Ce séisme a été ressenti très largement en dehors du Doubs dans tout l'est de la France, en Suisse et dans le nord-ouest de l'Allemagne, sans faire de victimes ni de dégâts significatifs.

Lors d'un séisme, des ondes traversent la Terre. Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismomètres. Leur vitesse de propagation et leur amplitude sont modifiées par les structures géologiques traversées. C'est pourquoi les signaux enregistrés sont la combinaison d'effets liés à la source, aux milieux traversés et aux instruments de mesure.

Parmi les ondes sismiques, on distingue:
- les ondes P ou ondes primaires, qui sont des ondes de compression ou ondes longitudinales ; leur célérité v_p vaut en moyenne $v_p = 6{,}0$ km.s^{-1}.
- les ondes S ou ondes secondaires, appelées également ondes de cisaillement ou ondes transversales ; leur célérité v_s vaut en moyenne $v_s = 3{,}5$ km.s^{-1}.

1. Étude d'un sismogramme

L'écart entre les dates d'arrivée des ondes P et S renseigne, connaissant la célérité des ondes, sur l'éloignement du lieu où le séisme s'est produit.
Le document 1 ***EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE*** *présente un extrait de sismogramme relevé dans une station d'enregistrement après le séisme du 23 février de Roulans.*
On notera t_0 la date correspondant au début du séisme, date à laquelle les ondes P et S sont générées simultanément.

1.1.En utilisant des informations du texte encadré, associer, sur le document 1 **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, à chaque signal observé sur le sismographe, le type d'ondes détectées (ondes S ou ondes P). Justifier.

1.2.Relever sur ce document les dates d'arrivée des ondes S et P à la station d'enregistrement notées respectivement t_s et t_p.

1.3.*Soit d la distance qui sépare la station d'enregistrement du lieu où le séisme s'est produit.*
Exprimer la célérité notée v_S des ondes S en fonction de la distance d parcourue et des dates t_s et t_0.
Faire de même pour les ondes P avec les dates t_p et t_0.

1.4. Retrouver l'expression de la distance *d* :

$$d = \frac{v_S \cdot v_P}{v_P - v_S}\left(t_S - t_P\right)$$

1.5. En déduire la valeur numérique de cette distance *d*.

2. Fonctionnement d'un sismomètre

Pour obtenir des sismogrammes comme celui présenté sur le document 1 ***EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE****, on utilise des sismomètres. Un sismomètre est un appareil capable de détecter de très petits mouvements du sol et de les enregistrer, par un procédé analogique ou numérique, en suivant une base de temps très précise. Il fonctionne sur le même principe qu'un oscillateur solide-ressort amorti lié à un bâti fixé au sol. Les sismomètres sont sensibles aux vibrations verticales ou horizontales au sol. On s'intéresse ici au fonctionnement d'un sismomètre horizontal.*

2.1. Étude des oscillations libres en l'absence de tout séisme

On modélise le sismomètre horizontal par un système solide-ressort. Le ressort de constante de raideur k est fixé par une extrémité à un bâti B. Le solide de masse m et de centre d'inertie G se déplace le long d'un support rectiligne horizontal. La projection de G est repérée sur l'axe Ox par son abscisse x(t) (voir document 2 ***EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE****).*
L'origine O représente la projection du point G lorsque la longueur du ressort correspond à sa longueur à vide. En l'absence de tout séisme, on étudie les oscillations libres du système solide-ressort et on néglige tout frottement.
Le bâti est alors supposé fixe dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen.

2.1.1. Faire un inventaire des forces extérieures exercées sur le solide et les représenter sur le schéma du document 2 **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**.

2.1.2. Appliquer la deuxième loi de Newton au centre d'inertie G du solide pour établir l'équation différentielle vérifiée par *x(t)*.

2.1.3. La période propre T_0 des oscillations libres du solide est $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. Vérifier la cohérence de cette expression par une analyse dimensionnelle.

2.2. Étude des oscillations forcées lors d'un séisme

Lors d'un séisme, le sismomètre fonctionne en oscillations forcées. Le solide est en mouvement relatif par rapport au bâti. C'est ce mouvement relatif qui est enregistré par un dispositif mécanique, optique ou électronique. On admettra que, pendant un séisme, le sol et donc le bâti, ont un mouvement de vibration sinusoïdale.

2.2.1. Quel est l'excitateur ? Quel est le résonateur ?

Il existe différentes classes de sismomètres en fonction de la fréquence des ondes sinusoïdales qui composent le signal. En effet un signal sismique peut comporter des ondes dont les périodes vont de quelques centièmes de seconde à plusieurs minutes. Le sismomètre entre en résonance pour une fréquence particulière. Il comporte également un système d'amortissement, nécessaire pour obtenir une restitution fidèle du mouvement du sol.

2.2.2. En admettant que l'amortissement est suffisamment faible, pour quelle période de l'excitateur ce phénomène de résonance se produit-il ?
Remarque : sans ce phénomène de résonance, le mouvement relatif est d'amplitude trop faible pour pouvoir être enregistré de façon fiable.

2.2.3. Pour *simplifier le raisonnement on considère que les ondes P et S sont périodiques.*
En analysant le document 1 **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE**, dire si l'ordre de grandeur de la période des ondes P et S est plutôt de 10 s, ou 1 s, ou 0,1 s. Justifier la réponse.

2.2.4. À partir de l'expression de la période propre T_0 donnée à la question **2.1.3.**, calculer la valeur approchée de la masse *m* du solide qui, dans le cas de ce tremblement de terre, a permis de relever le sismogramme des ondes P et S. La constante de raideur du ressort est $k = 100\ \text{N.m}^{-1}$.

Aide au calcul : $\pi^2 = 10$

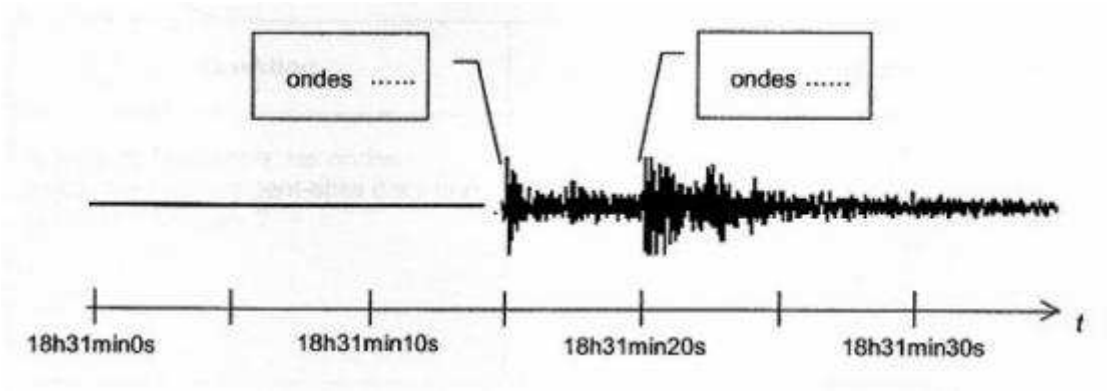
2.2.5. Certaines ondes se propageant lors d'un séisme sont de fréquences beaucoup plus basses que celles des ondes P et S. Comment faudrait-il modifier la masse *m* pour pouvoir les enregistrer ?

3. À propos des séismes

Répondre aux questions posées dans le document 3 **EN ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE** en justifiant brièvement dans le cadre.

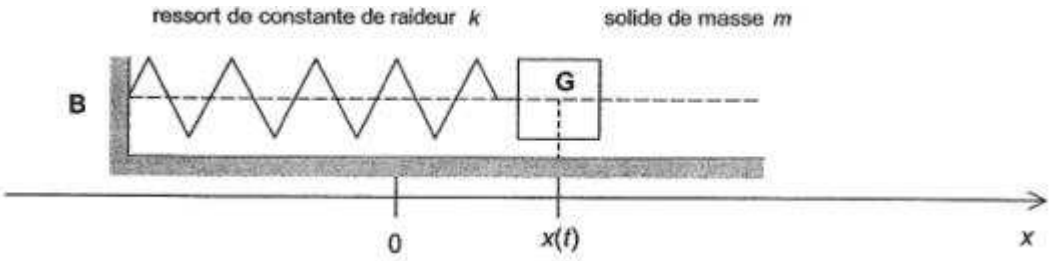
ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE À LA COPIE

1. Étude d'un sismogramme



Document 1 : Extrait de sismogramme relevé après le séisme du 23 février de Roulans

2. Fonctionnement d'un sismomètre



Document 2: Schéma du modèle du sismomètre horizontal

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE A LA COPIE

3. À propos des séismes

Document 3 :

Question	Réponse
A partir de l'épicentre, les ondes sismiques se propagent-elles dans une direction privilégiée ?	
Les ondes sismiques se propagent-elles avec transport de matière ?	
À propos des ondes P, le texte évoque des ondes longitudinales. Définir une onde longitudinale.	
Exprimer et calculer numériquement la longueur d'onde λ d'une onde P de période $T = 0{,}2\,\text{s}$.	
Pourquoi le texte donne-t-il les valeurs moyennes pour les célérités des ondes sismiques ?	