

EXERCICE I : LE SÉISME DE KOBÉ – 8 points

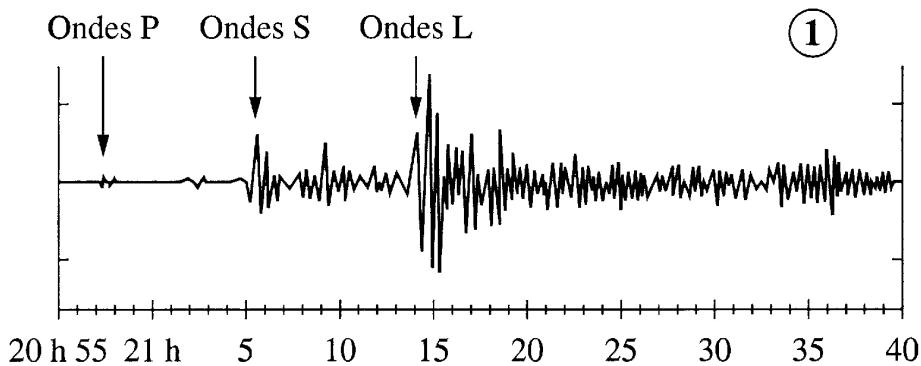
Lors d'un séisme, deux plaques rocheuses glissent l'une sur l'autre au niveau d'une faille. Les frottements donnent naissance à des ondes sismiques qui se propagent dans le globe terrestre. Parmi les ondes sismiques, on distingue :

- les ondes *P*, les plus rapides. Ce sont des ondes de compression, leur célérité est comprise entre $3,5 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ et $10 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ selon la nature des roches et la profondeur de propagation ;
- les ondes *S*, ondes transversales de cisaillement. Elles sont 1,7 fois moins rapides que les ondes *P* ;
- les ondes *L* ou ondes superficielles, encore plus lentes que les ondes *S*. Ce sont des ondes de cisaillement, comme les ondes *S*, mais qui font osciller le sol dans un plan horizontal ;
- les ondes *R*, dites de Rayleigh : les particules du sol oscillent en décrivant une ellipse créant une véritable vague. Ces ondes sont particulièrement destructrices.

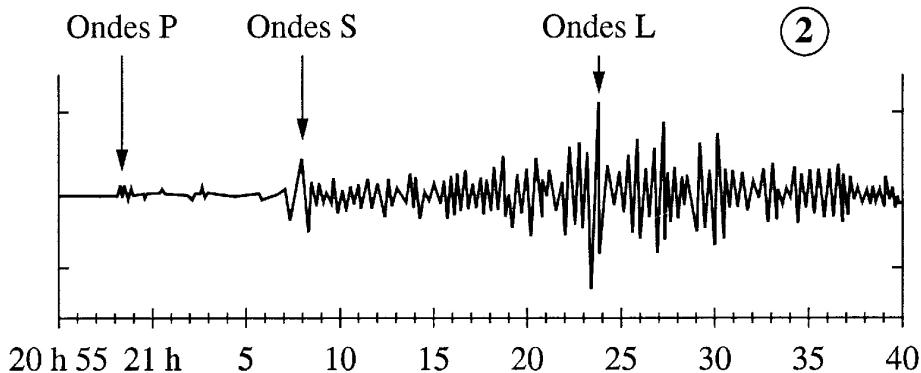
Des sismomètres, placés en divers points de la surface de la Terre enregistrent les ondes produites. L'étude de ces ondes a permis, entre autres, de connaître la structure interne de la Terre.

Le 17 janvier 1996 à 20h46 U.T., un séisme a eu lieu à Kobé (Japon). Les documents 1 et 2 suivants sont les enregistrements de ce séisme par deux stations.

Sismogramme enregistré à Hawaï, situé à 6 630 km de Kobé :



Sismogramme enregistré à Canberra (Australie), situé à 7 870 km de Kobé :



Sur ces deux documents, le temps indiqué est le temps universel (T.U.) égal à l'heure sur le méridien de Greenwich. Les enregistrements font apparaître essentiellement trois des quatre types d'ondes sismiques évoquées ci-dessus dont les dates d'arrivée à chaque station sont repérées par des flèches.

1. À propos des ondes sismiques

- 1.1. Parmi les différents types d'ondes sismiques, lesquelles sont les plus rapides ? S'agit-il d'ondes longitudinales ou d'ondes transversales ? On définira ces deux termes.
- 1.2. Quelles sont les ondes les plus destructrices ? S'agit-il de celles présentant l'amplitude la plus importante ? Justifier à l'aide des documents et préciser alors ce qui les rend particulièrement destructrices.
- 1.3. Quelle grandeur physique caractérise la puissance d'un tremblement de Terre ? Préciser de quel type d'échelle il s'agit et donner la relation mathématique permettant de la calculer.

2. Exploitation des sismogrammes

- 2.1. À l'aide des deux enregistrements proposés, déterminer le temps respectif mis par les ondes P, S et L pour parcourir les distances Hawaï-Kobé et Canberra-Kobé.
- 2.2. En déduire les célérités moyennes des ondes P, S et L en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ et les comparer aux célérités données dans le texte.
- 2.3. *De par la composition de la Terre, la célérité réelle des ondes P est toujours inférieure à $8,0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. En considérant que les ondes P se propagent à raison de $8,0 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$, déterminer la distance réellement parcourue par les ondes P entre l'épicentre du séisme (Kobé) et la station d'enregistrement de Canberra.*
- 2.4. Comment peut-on expliquer la différence entre cette distance et la distance au sol entre Kobé et la station de Canberra ?

EXERCICE II : LES ONDES DANS L'OcéAN – 12 points

Le texte ci-dessous est composé d'extraits d'un cours d'océanographie que l'on peut découvrir sur le site web de l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer). Ce document est édité par son laboratoire de physique des océans sous le titre « Les ondes dans l'océan ».

En océanographie, les ondes de surface se matérialisent par une déformation de l'interface entre l'océan et l'atmosphère. Les particules d'eau mises en mouvement au passage d'une onde se déplacent avec un petit mouvement qui leur est propre, mais restent en moyenne à la même position.

La houle est formée par le vent : c'est un phénomène périodique, se présentant sous l'aspect de **vagues parallèles** avec une longueur d'onde λ de l'ordre de 100 m au large, où la profondeur moyenne de l'océan est d'environ 4000 m.

On peut classer les ondes de surface, en fonction de leurs caractéristiques et de celles du milieu de propagation, en « ondes courtes » et en « ondes longues ».

– **Ondes courtes** : lorsque la longueur d'onde λ est faible par rapport à la profondeur locale h de l'océan (au moins $\lambda < 0,50 \cdot h$). Leur célérité v est donnée par : $v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$

– **Ondes longues** : lorsque la longueur d'onde λ est très grande par rapport à la profondeur h de l'océan ($\lambda > 10 \cdot h$). Leur célérité est donnée par : $v = \sqrt{g \cdot h}$

Remarque : g est l'intensité du champ de pesanteur terrestre ; on prendra $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Questions sur le texte

- 1.1. Justifier, par analyse dimensionnelle, que l'expression $\sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$ est bien homogène à une célérité.
- 1.2. Au large (avec une profondeur de l'océan $h_1 = 4000 \text{ m}$), la houle est-elle classée en ondes courtes ou longues ? Évaluer la célérité v_1 d'une houle de longueur d'onde $\lambda_1 = 80 \text{ m}$ ainsi que la période T de ses vagues.

- 1.3.** En arrivant près d'une côte sablonneuse (avec une profondeur d'eau $h_2 = 3,0$ m), la longueur d'onde de la houle devient grande par rapport à la profondeur ; cette houle rentre donc dans la catégorie des ondes longues. Sachant que sa période T ne varie pas, évaluer alors sa nouvelle célérité v_2 ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2 .

2. Étude de la houle à l'aide de la cuve à ondes

Au lycée, on veut compléter l'étude d'ondes analogues à la houle en eaux peu profondes. On utilise une « cuve à ondes ». Avec une webcam, on enregistre des vidéos de l'aspect de la surface de l'eau (en projection sur le verre dépoli vertical de la cuve). On traite ces vidéos à l'aide d'un logiciel adapté.

Dans un plan vertical, un vibreur anime d'un mouvement périodique, de période T , une réglette qui génère des vagues rectilignes parallèles, se propageant sans réflexion à la surface de l'eau de la cuve avec une célérité v .

La profondeur h de l'eau est faible et constante. La webcam prend des images à des instants t successifs, séparés par une durée $\Theta = \frac{1}{30}$ s = 0,033 s.

- 2.1.** Selon la direction de propagation des ondes, axe (xx'), on pointe, sur des vues successives, un même sommet de ride (ligne brillante sur le dépoli). On obtient, après étalonnage des distances, le tableau de mesures donné ci-dessous où x est l'abscisse de la ride à la date t .

t(en s)	0,200	0,233	0,267	0,300	0,333	0,367	0,400
x(en m)	0,098	0,105	0,114	0,122	0,130	0,138	0,147

- 2.1.1.** Tracer la courbe représentative de x en fonction de t sur le papier millimétré figurant en **ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**.

- 2.1.2.** Déduire de la courbe précédente la célérité v de cette onde. Est-elle constante ?

- 2.1.3.** Sur l'une des vues du film, on pointe, selon l'axe (xx'), les sommets de la ride n°1 et de la ride n°4. La distance entre ces deux sommets est $d = 0,088$ m. Évaluer la longueur d'onde λ de ces ondes.

- 2.1.4.** D'autre part, une étude en lumière stroboscopique a permis de déterminer la fréquence f du vibreur : $8 \text{ Hz} < f < 9 \text{ Hz}$. Les valeurs calculées de v et de λ sont-elles en accord avec la fréquence f donnée par le stroboscope ?

- 2.2.** Les ondes émises par le vibreur sont transversales, pratiquement sinusoïdales. On néglige le phénomène de dispersion. À un instant t , une vue en coupe (dans un plan vertical) de la surface de l'eau présente l'aspect reproduit sur l'**ANNEXE 2 À RENDRE AVEC LA COPIE**. S est le point source, M est le front de l'onde.

- 2.2.1.** Exprimer littéralement, en fonction de la période T des ondes, le retard τ que présente le mouvement du point M par rapport au mouvement de la source S .

- 2.2.2.** À l'instant suivant, le point M se déplace-t-il : verticalement vers le haut ? verticalement vers le bas ? horizontalement vers la gauche ? horizontalement vers la droite ? Justifier la réponse.

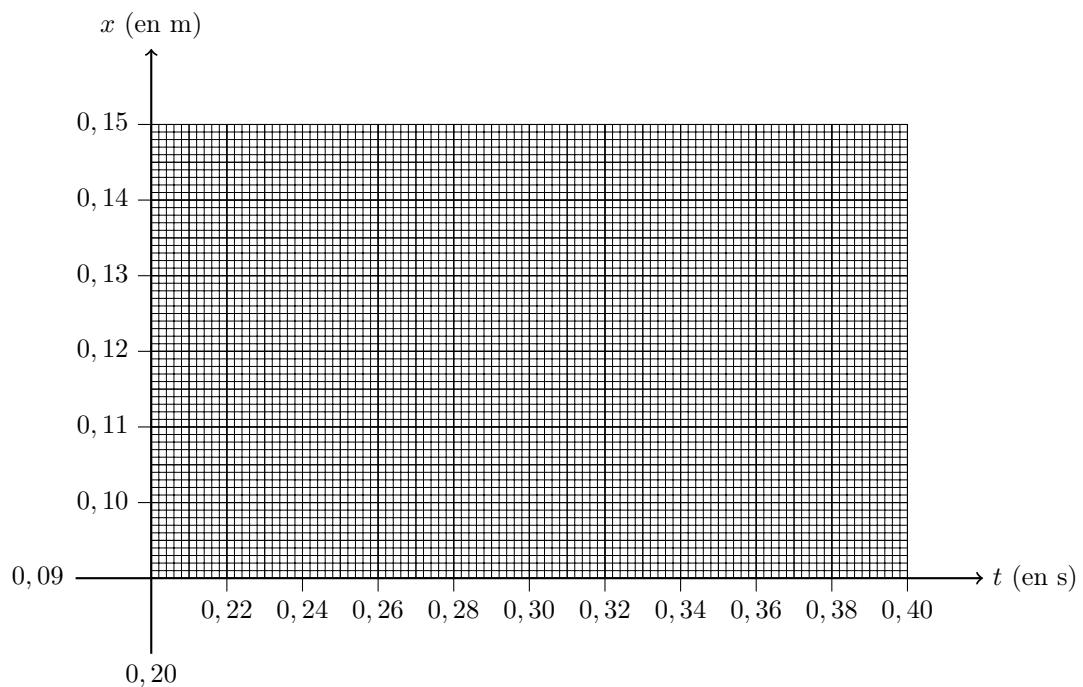
- 2.3.** Sans rien modifier d'autre, on règle la fréquence du vibreur à $f' = 19 \text{ Hz}$. La mesure de la célérité des ondes donne alors $v' = 0,263 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

- 2.3.1.** Comparer cette célérité à celle trouvée à la question **2.1.2.**

- 2.3.2.** La différence entre v et v' est la manifestation du phénomène de dispersion : un milieu est dispersif si la célérité des ondes qui s'y propagent dépend de leur fréquence. Ce phénomène est-il présenté par des ondes non mécaniques ? Si oui, lesquelles ? Citer une conséquence.

ANNEXE 1 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

Exercice II – Question 2.1.1.



ANNEXE 2 (À RENDRE AVEC LA COPIE)

Exercice II – Question 2.2.

