TS3 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°1 - Durée : 2h
Proposition de correction

EXERCICE I : LE SÉISME DE KOBÉ – 8 points

1. À propos des ondes sismiques

1.1. Parmi les différents types d'ondes sismiques, les ondes P sont les plus rapides ; il s'agit d'ondes longitudinales pour lesquelles la perturbation a lieu dans une direction parallèle à la direction de propagation de l'onde. En revanche, pour les ondes transversales telles les ondes S ou L, la perturbation a lieu dans une direction perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde.

1.2. Les ondes les plus destructrices sont les ondes de Rayleigh alors qu'elles ne présentent pas l'amplitude la plus grande. En effet, comme il s'agit des ondes les plus lentes, elles arrivent après les ondes L à la station et les sismogrammes montrent bien que les amplitudes des ondes arrivant à une date plus tardive que les ondes L sont plus faibles. Ces ondes sont particulièrement destructrices en raison du mouvement qu'elle impriment au sol qui est similaire à une vague.

1.3. La puissance d'un tremblement de Terre est caractérisée par la magnitude du séisme. L'échelle utilisée (échelle de Richter) est une échelle logarithmique étant donnée la relation entre la magnitude M du séisme et l'amplitude A mesurée sur le sismogramme : $M = \log\left(\dfrac{A}{A_0}\right)$, A_0 étant une amplitude de référence.

2. Exploitation des sismogrammes

2.1. Les durées demandée peuvent être présentées sous forme de tableaux :

Type d'onde	Heure du séisme	Heure d'arrivée à Hawaï	Durée mise pour parcourir la distance Kobé-Hawaï
Ondes P	20 h 46 min 0 s	20 h 57 min 30 s	11 min 30 s = 690 s
Ondes S	20h 46 min 0 s	21 h 05 min 30 s	19 min 30 s = 1170 s
Ondes L	20 h 46 min 0 s	21 h 14 min 0 s	28 min = 1680 s

Type d'onde	Heure du séisme	Heure d'arrivée à Canberra	Durée mise pour parcourir la distance Kobé-Canberra
Ondes P	20 h 46 min 0 s	20 h 58 min 30 s	12 min 30 s = 750 s
Ondes S	20h 46 min 0 s	21 h 08 min 0 s	22 min = 1320 s
Ondes L	20 h 46 min 0 s	21 h 24 min 0 s	38 min = 2280 s

2.2. La célérité v_P des ondes P (en $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$) se calcule en faisant le rapport de la distance séparant Kobé et Hawaï (6630 km) par le temps (en secondes) mis pour parcourir cette distance et figurant dans le premier tableau. On calcule de même les célérités v_S et v_L trouvées à partir des données d'Hawaï. Les mêmes calculs permettent d'exploiter les données de Canberra en remplaçant la distance par 7870 km, distance entre Kobé et Canberra. Les résultat figurent dans le tableau ci-dessous.

Type d'onde	Célérité v_1 (données d'Hawaï)	Célérité v_2 (données de Canberra)	Célérité moyenne $v = \dfrac{v_1+v_2}{2}$
Ondes P	$9,6\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$10,5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$10\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$
Ondes S	$5,7\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$6,0\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$5,9\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$
Ondes L	$3,9\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$3,5\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$	$3,7\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$

Pour les ondes P, le texte indique une célérité comprise entre $3,5\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$ et $10\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$ et les mesures fournissent une valeur de $10\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$, ce qui est donc compatible même si le résultats est proche de la borne supérieure.

Pour les ondes S, le texte indique une célérité comprise entre $2,0\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$ et $5,9\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$ (elles sont 1,7 fois plus lentes que les ondes P) et les mesures fournissent une valeur de $5,9\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$, ce qui est donc compatible même si le résultats est là aussi proche de la borne supérieure.

Pour les ondes L, le texte indique qu'elles sont encore plus lentes que les ondes S et les mesures fournissent une valeur de $3,7\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$ qui est bien inférieure à celle trouvée pour les ondes S.

2.3. Soient D la distance réellement parcourue par les ondes P entre Kobé et Canberra, V_P la célérité réelle des ondes P et Δt la durée mise par les ondes P pour couvrir la distance Kobé-Canberra. On a : $V_P = \dfrac{D}{\Delta t}$ d'où $D = V_P \cdot \Delta t = 8,0 \times 750 = 6000$ km.

2.4. Cette distance, plus courte que la distance Kobé-Canberra mesurée à la surface de la Terre, laisse supposer que les ondes P ne se propagent pas à la surface de la Terre mais empruntent un chemin plus court passant par l'intérieur du globe terrestre.

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

1. Questions sur le texte

1.1. Analyse dimensionnelle : $\left[\sqrt{\dfrac{g\cdot\lambda}{2\pi}}\right] = [g\cdot\lambda]^{1/2}$. Or $[\lambda] = L$ et $[g] = L\cdot T^{-2}$ car g est l'accélération de la pesanteur. Ainsi, $[g\cdot\lambda] = L^2\cdot T^{-2}$ donc $[g\cdot\lambda]^{1/2} = L\cdot T^{-1}$. L'expression étudiée a donc bien la dimension d'une longueur divisée par une durée, ce qui correspond à la dimension d'une célérité.

1.2. D'après le texte, la longueur d'onde est de l'ordre de 100 m lorsque la profondeur est de l'ordre de 4000 m. Dans ce cas, $\lambda_1 = 100\ \mathrm{m} < 0,50\cdot h_1 = 2000$ m. Il s'agit donc d'ondes dites courtes.
Pour des ondes courtes de longueur d'onde $\lambda_1 = 80$ m : $v_1 = \sqrt{\dfrac{g\cdot\lambda_1}{2\pi}} = \sqrt{\dfrac{10\times 80}{2\pi}} = 11\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$. De plus, $\lambda_1 = v_1 \cdot T$ donc la période de ces ondes vaut :

$$T = \frac{\lambda_1}{v_1} = \lambda_1\cdot\sqrt{\frac{2\pi}{g\cdot\lambda_1}} = \sqrt{\frac{2\pi\cdot\lambda_1^{\cancel{2}}}{g\cdot\cancel{\lambda_1}}} = \sqrt{\frac{2\pi\cdot\lambda_1}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi\times 80}{10}} = 7,1\ \mathrm{s}.$$

1.3. Pour les ondes longues, la célérité est donnée par : $v_2 = \sqrt{g\cdot h_2} = \sqrt{10\times 3,0} = 5,5\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$
Ici, la période ne varie pas donc : $\lambda_2 = v_2\cdot T = 5,5\times 7,1 = 3,9\cdot 10^1\ \mathrm{m} = 39$ m.

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

2.1. Célérité des ondes

2.1.1. Voir graphique ci-dessous.

2.1.2. Le graphe représentant la fonction $x = f(t)$ est une droite dont le coefficient directeur est égal à la célérité v de l'onde. Comme les points sont tous très proches de la droite modélisant le nuage de points, on en déduit que la célérité de l'onde est constante, aux légères erreurs de pointage près. On peut déterminer la célérité en prenant les points $A(0,210; 0,100)$ et $B(0,394; 0,145)$:

$$v = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A} = \frac{0,145 - 0,100}{0,394 - 0,210} = 2,45\cdot 10^{-1}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}} = 0,245\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

2.1.3. Le sommet de la ride n°1 et celui de la ride n°4 sont séparés d'une distance $d = 3\cdot\lambda$. On en déduit une valeur de la longueur d'onde : $\lambda = \dfrac{d}{3} = \dfrac{0,088}{3} = 2,9\cdot 10^{-2}$ m.

2.1.4. On peut en déduire la fréquence de l'onde par la relation : $\lambda = v \cdot T = \dfrac{v}{f}$ soit une fréquence $f = \dfrac{v}{\lambda} = \dfrac{2,45 \cdot 10^{-1}}{2,9 \cdot 10^{-2}} = 8,4\ \mathrm{Hz}$. La fréquence calculée est bien comprise entre 8 Hz et 9 Hz comme la fréquence du vibreur déterminée par stroboscopie.

2.2. Mouvement de la surface de l'eau

2.2.1. Les points S et M sont séparés dans l'espace d'une distance égale à $2,5 \cdot \lambda$ (voir figure ci-dessous). Or la longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde pendant une période T. Ainsi, l'onde mettra une durée de $2,5 \cdot T$ pour parcourir la distance SM. Le point M présente donc un retard par rapport à la source S tel que : $\tau = 2,5 \cdot T$.

2.2.2. À l'instant suivant, le point M se déplace verticalement vers le haut. En effet, l'onde étant transversale, il ne peut se déplacer que verticalement. Par ailleurs, l'onde se propage de S vers M donc à l'instant suivant, la figure se sera décalée vers la droite et le point M se sera donc déplacé vers le haut.

2.3. Influence de la fréquence

2.3.1. Pour une fréquence entre entre 8 Hz et 9 Hz, on avait une célérité de $0,245\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Pour une fréquence de 19 Hz, on a à présent une célérité plus élevée de $0,263\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. On remarque donc que la célérité des ondes dans le milieu dépend de leur fréquence. Cela met en évidence le phénomène de dispersion et le fait que le milieu de propagation soit dispersif.

2.3.2. Ce phénomène a également lieu avec les ondes lumineuses : lorsque la lumière pénètre dans un prisme en verre, par exemple, elle est dispersée car toutes les couleurs qu'elle contient n'ont pas la même célérité dans le verre. On observe alors une figure colorée présentant toutes les couleurs de l'arc-en-ciel que l'on appelle spectre de la lumière blanche. C'est en décomposant ainsi la lumière blanche en 1666 que Newton a été amené à penser que la lumière blanche est polychromatique et qu'elle contient une infinité de radiations colorées de diverses fréquences.