Les ondes sonores

Bac S 2010 Liban (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir de la manière la plus complète possible une onde mécanique progressive.

Une onde mécanique progressive est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, de proche en proche, sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

Perturbation qui se propage dans un milieu matériel, sans transport de matière, avec transport d'énergie.

PIÈGE
Oublier « sans transport de matière » ou « milieu matériel » : la question demande la définition la plus complète possible.

COMPRENDRE
« Milieu matériel » explique l'observation 1 : entre le Soleil et la Terre règne le vide, aucun son ne peut s'y propager.

1.2 Compléter les cases blanches du tableau de l'annexe avec les quatre exemples d'ondes proposés.

Onde longitudinale : la perturbation a la même direction que la propagation. Onde transversale : la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation.

- Longitudinale, une dimension : onde lors de la compression-dilatation d'un ressort.
- Longitudinale, trois dimensions : onde sonore.
- Transversale, une dimension : onde le long d'une corde.
- Transversale, deux dimensions : onde à la surface de l'eau.

Tableau de l'annexe complété (voir figure).

COMPRENDRE
L'observation 2 montre que l'onde sonore est longitudinale : la flamme oscille dans la direction haut-parleur – bougie, qui est la direction de propagation, et pas perpendiculairement.

MÉTHODE
Trier d'abord selon le caractère longitudinal ou transversal, puis compter les directions dans lesquelles l'onde s'étend : une ligne, une surface, tout l'espace.

	Ondes à une dimension	Ondes à deux dimensions	Ondes à trois dimensions
Ondes longitudinales	Onde lors de la compression-dilatation d'un ressort		Onde sonore
Ondes transversales	Onde le long d'une corde	Onde à la surface de l'eau	

1.2 · Annexe complétée (réponses en orange)

2.1 Comment peut-on déterminer la célérité de l'onde sonore à l'aide des courbes obtenues ?

Chaque courbe reste plate jusqu'à l'arrivée du son sur le microphone. On relève la date de début du signal sur chacun des enregistrements : la différence entre deux dates est le retard τ du son entre les deux microphones concernés.

Connaissant la distance d qui sépare ces deux microphones :

$v = \frac{d}{\tau}$, avec τ le retard lu entre les débuts des deux signaux.

PIÈGE
Diviser la distance par la date d'arrivée elle-même. L'enregistrement n'a pas démarré à l'instant du coup de cymbale : seule une différence de dates a un sens.

2.2 Calculer la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2, puis pour la distance M_2M_3.

Données utiles $M_1M_2 = 2{,}00$ m ; $M_2M_3 = 3{,}00$ m ; échelle des courbes : une graduation pour 1 ms

Dates de début des signaux lues sur les courbes : $t_1 = 1{,}9$ ms ; $t_2 = 7{,}8$ ms ; $t_3 = 16{,}7$ ms.

Entre M_1 et M_2 : $\tau = t_2 - t_1 = 5{,}9$ ms.

$$v = \frac{M_1M_2}{\tau} = \frac{2{,}00}{5{,}9 \times 10^{-3}} = 3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Entre M_2 et M_3 : $\tau' = t_3 - t_2 = 8{,}9$ ms.

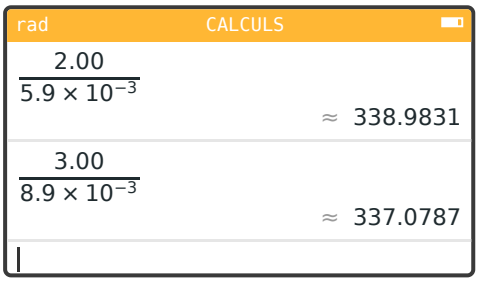
$$v' = \frac{M_2M_3}{\tau'} = \frac{3{,}00}{8{,}9 \times 10^{-3}} = 3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 3{,}4 \times 10^2$ m · s^{-1} et $v' = 3{,}4 \times 10^2$ m · s^{-1}

PIÈGE
Laisser les retards en millisecondes : on obtiendrait des $\text{m} \cdot \text{ms}^{-1}$. Convertir en secondes avant de diviser.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : les retards sont lus sur le graphique à environ $0{,}2$ ms près, ce qui limite la précision bien plus que les distances.

À LA CALCULATRICE



2.3 Les résultats obtenus sont-ils cohérents ?

Données utiles v et v' (2.2)

Les deux célérités sont égales à la précision des lectures graphiques (écart inférieur à 1 %, alors qu'une erreur de $0{,}2$ ms sur un retard change déjà le résultat de 2 à 3 %).

De plus, l'ordre de grandeur est celui de la célérité du son dans l'air à température ambiante, environ 340 m · s^{-1}.

Oui : les deux résultats sont cohérents entre eux et avec la valeur connue de la célérité du son dans l'air.

COMPRENDRE
Selon la lecture des dates, on peut trouver des valeurs entre $3{,}2 \times 10^2$ et $3{,}5 \times 10^2$ m · s^{-1} : elles restent compatibles, l'écart venant de l'imprécision du pointage.

3.1 Déterminer la période puis la fréquence du son émis par le diapason.

Données utiles courbes des microphones, axe des temps en ms

Pour gagner en précision, on mesure plusieurs périodes : entre le premier maximum ($0{,}55$ ms) et le cinquième ($9{,}65$ ms), il y a quatre périodes.

$4T = 9{,}65 - 0{,}55 = 9{,}1$ ms, donc $T = \frac{9{,}1}{4} = 2{,}3$ ms $= 2{,}3 \times 10^{-3}$ s.

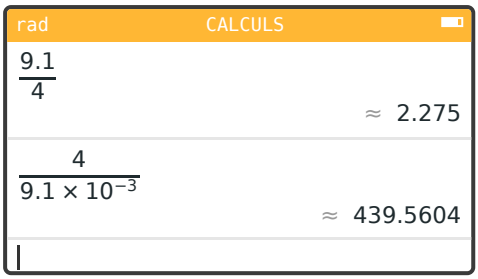
$$f = \frac{1}{T} = \frac{4}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^2 \text{ Hz}$$

$T = 2{,}3 \times 10^{-3}$ s et $f = 4{,}4 \times 10^2$ Hz

COMPRENDRE
On retrouve la fréquence habituelle d'un diapason, 440 Hz (la note « la »).

MÉTHODE
Mesurer la durée du plus grand nombre possible de périodes entières, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur toutes les périodes.

À LA CALCULATRICE



3.2 Pourquoi compte-t-on plusieurs retours de phase plutôt qu'un seul ?

L'incertitude sur le repérage d'une position de phase est la même quelle que soit la distance mesurée. En mesurant une distance cinq fois plus grande, l'incertitude relative sur la distance, donc sur la longueur d'onde, est cinq fois plus petite.

Pour améliorer la précision : l'erreur relative sur la distance mesurée est plus faible.

3.3 Définir la longueur d'onde, puis déduire sa valeur de l'expérience précédente.

Données utiles $D = 3{,}86$ m pour cinq retours en phase

La longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période T ; c'est aussi la plus petite distance séparant deux points du milieu qui vibrent en phase.

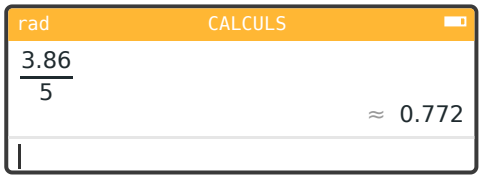
Chaque retour en phase correspond à un éloignement de M_2 d'une longueur d'onde. Pour cinq retours : $D = 5\lambda$.

$$\lambda = \frac{D}{5} = \frac{3{,}86}{5} = 0{,}772 \text{ m}$$

$\lambda = 0{,}772$ m

PIÈGE
Compter quatre intervalles au lieu de cinq. Les microphones étaient côte à côte au départ : la première nouvelle position en phase est déjà à une longueur d'onde.

À LA CALCULATRICE



3.4 Calculer alors la célérité de l'onde.

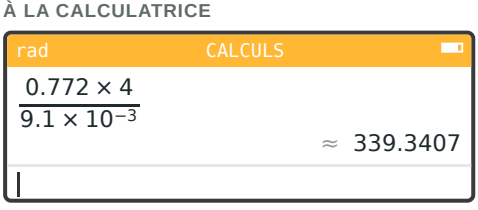
Données utiles $\lambda = 0{,}772$ m (3.3) ; T et f (3.1)

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = 0{,}772 \times \frac{4}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Le résultat est limité à deux chiffres significatifs par la période. On garde la valeur non arrondie de T dans le calcul.

À LA CALCULATRICE



3.5 D'après les résultats des questions 3.4 et 2.2, le milieu de propagation des ondes sonores est-il dispersif ?

Données utiles v (2.2) ; v (3.4)

Un milieu est dispersif si la célérité de l'onde dépend de sa fréquence.

Le son de la cymbale (2.2) et celui du diapason (3.4) n'ont pas la même fréquence ; pourtant les deux expériences donnent la même célérité, $3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

La célérité ne dépend pas de la fréquence : l'air n'est pas un milieu dispersif pour les ondes sonores.

COMPRENDRE
Conséquence pratique : à un concert, les sons graves et les sons aigus émis au même instant arrivent ensemble à l'auditeur, même au fond de la salle.

4.1 Quel phénomène physique permet d'expliquer l'observation faite par les amis de Julien ?

La porte ouverte joue le rôle d'une ouverture placée sur le trajet de l'onde sonore. À sa traversée, l'onde change de direction de propagation et s'étale dans le hall, derrière le mur.

Il s'agit de la diffraction de l'onde sonore par l'ouverture de la porte.

4.2 Les amis ont-ils entendu préférentiellement des sons graves ($f = 100$ Hz) ou très aigus ($f = 10\,000$ Hz) ? Justifier en calculant les longueurs d'onde.

Données utiles largeur de la porte $a = 1{,}00$ m ; $v = 3{,}4 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (3.4)

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Sons graves : $\lambda_1 = \dfrac{3{,}4 \times 10^2}{100} = 3{,}4$ m. Sons aigus : $\lambda_2 = \dfrac{3{,}4 \times 10^2}{10\,000} = 3{,}4 \times 10^{-2}$ m.

La diffraction est d'autant plus marquée que la longueur d'onde est grande devant la largeur a de l'ouverture. Ici $\lambda_1 > a$: les sons graves sont fortement diffractés et se répandent dans tout le hall. En revanche $\lambda_2 \ll a$: les sons aigus sont très peu diffractés et continuent presque en ligne droite.

$\lambda_1 = 3{,}4$ m et $\lambda_2 = 3{,}4 \times 10^{-2}$ m : les amis entendent surtout les sons graves.

MÉTHODE
Pour juger de l'importance de la diffraction, comparer toujours la longueur d'onde à la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle.

À LA CALCULATRICE

