Célérité des ultrasons

Bac S 2012 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 L'onde ultrasonore est-elle une onde mécanique ? Répondre par oui ou non en justifiant.

Oui. Une onde ultrasonore est la propagation d'une perturbation (compressions et dilatations successives) dans un milieu matériel : air, liquide ou solide. Elle ne se propage pas dans le vide.

Oui : onde mécanique, elle a besoin d'un milieu matériel.

PIÈGE
Une réponse « oui » sans justification vaut zéro, le sujet le précise. La justification attendue est le milieu matériel, pas la fréquence.

1.2 L'onde ultrasonore est-elle une onde transversale ? Répondre par oui ou non en justifiant.

Non. Les points du milieu se déplacent selon la direction même de propagation de l'onde (compressions et dilatations le long de cette direction).

Non : l'onde ultrasonore est longitudinale.

COMPRENDRE
Onde transversale : perturbation perpendiculaire à la direction de propagation (corde, surface de l'eau). Onde longitudinale : perturbation parallèle (son, ultrasons, ressort comprimé).

1.3 L'onde ultrasonore est-elle une onde tridimensionnelle ? Répondre par oui ou non en justifiant.

Oui. En général, l'onde émise se propage dans toutes les directions de l'espace offertes par le milieu.

Oui : propagation dans les trois dimensions de l'espace.

COMPRENDRE
Une corde donne une onde à une dimension, la surface de l'eau une onde à deux dimensions. Le « en général » du sujet rappelle qu'un émetteur peut rendre le faisceau assez directif.

2.1 Tracer sur le même graphique les courbes $L = f(\tau_{air})$ et $L = f(\tau_{liq})$ (abscisses : 1 cm pour 0,20 ms ; ordonnées : 1 cm pour 0,10 m).

Données utiles tableau de mesures du sujet (L de 0,60 m à 1,60 m)

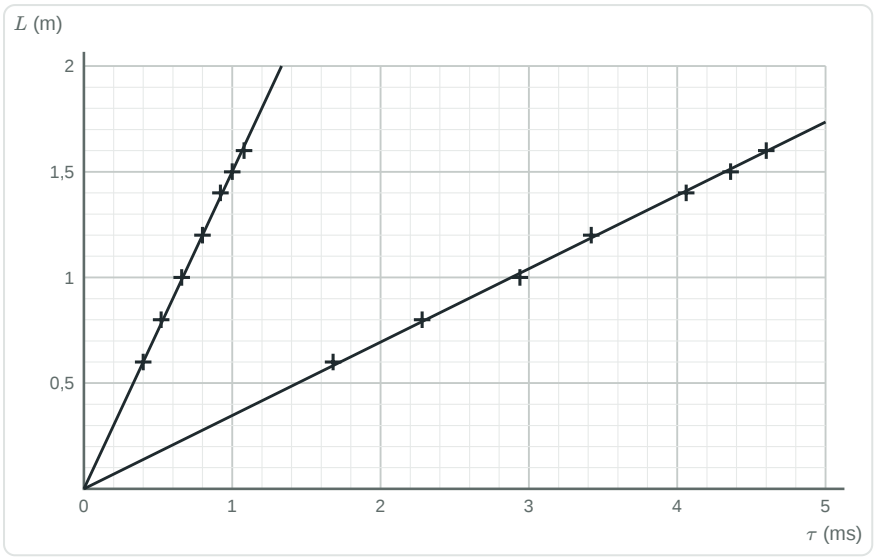
On place les 7 points de chaque série avec les échelles imposées, puis on trace pour chacune la droite moyenne passant au plus près des points.

Les deux séries de points sont alignées avec l'origine : on trace deux droites passant par l'origine.

Deux droites passant par l'origine : L est proportionnelle au retard ; la droite du liquide est la plus pentue.

PIÈGE
Relier les points un à un par une ligne brisée. On trace une droite moyenne, qui ne passe pas forcément par tous les points.

MÉTHODE
Penser au point $(0\,;\,0)$: pour $L = 0$, le retard est nul. Il guide le tracé de la droite moyenne.



2.1 · Points de mesure et droites moyennes : droite la plus pentue pour le liquide, la moins pentue pour l'air

2.2 Déterminer graphiquement la célérité des ultrasons dans l'air, V_{air}, et dans le liquide, V_{liq}.

Données utiles droites tracées en 2.1 (Q2.1)

L'onde parcourt L pendant le retard τ : $V = \dfrac{L}{\tau}$, soit $L = V\,\tau$. La droite passe par l'origine : son coefficient directeur est la célérité.

Air : on lit sur la droite le point $(4{,}00\ \text{ms}\,;\,1{,}39\ \text{m})$.

$$V_{\text{air}} = \frac{1{,}39 - 0}{(4{,}00 - 0) \times 10^{-3}} = 3{,}48 \times 10^{2}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Liquide : on lit sur la droite le point $(1{,}00\ \text{ms}\,;\,1{,}50\ \text{m})$.

$$V_{\text{liq}} = \frac{1{,}50 - 0}{(1{,}00 - 0) \times 10^{-3}} = 1{,}50 \times 10^{3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$V_{\text{air}} \approx 3{,}5 \times 10^{2}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $V_{\text{liq}} \approx 1{,}5 \times 10^{3}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$



2.2 · Lecture d'un point sur chaque droite moyenne

PIÈGE
Oublier de convertir les millisecondes en secondes : on trouverait 0,348 au lieu de 348.

COMPRENDRE
Une lecture graphique donne deux chiffres significatifs fiables. Selon la droite tracée, toute valeur entre $3{,}4$ et $3{,}5 \times 10^{2}$ (air) ou $1{,}5 \times 10^{3}$ (liquide) est acceptée.

MÉTHODE
Coefficient directeur : prendre un point de la droite éloigné de l'origine, pas forcément un point de mesure, pour limiter l'erreur de lecture.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.39}{4.00 \times 10^{-3}}$ ≈ 347.5

$\dfrac{1.50}{1.00 \times 10^{-3}}$ ≈ 1500

2.3 Comparer V_{air} et V_{liq} ; conclure.

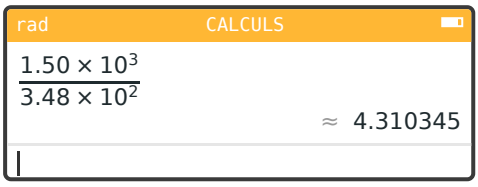
Données utiles V_{air} et V_{liq} (Q2.2)

$$\frac{V_{liq}}{V_{air}} = \frac{1{,}50 \times 10^3}{3{,}48 \times 10^2} \approx 4{,}3$$

$V_{liq} > V_{air}$: les ultrasons se propagent environ 4 fois plus vite dans le liquide que dans l'air ; la célérité dépend du milieu.

COMPRENDRE
Le liquide est bien moins compressible que l'air : la perturbation s'y transmet plus vite. La valeur trouvée est proche de celle de l'eau.

À LA CALCULATRICE



3.1 Définir une onde mécanique progressive périodique.

Onde mécanique progressive : propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

Elle est périodique si la perturbation se reproduit identique à elle-même à intervalles de temps égaux, de durée T (la période).

Perturbation qui se propage dans un milieu matériel et se répète identique à elle-même toutes les périodes T.

PIÈGE
Oublier « sans transport de matière » : c'est le point le plus souvent attendu dans la définition d'une onde progressive.

3.2 Donner le nom et la définition de la grandeur qui caractérise la périodicité spatiale de l'onde.

C'est la longueur d'onde λ (en m) : distance parcourue par l'onde pendant une période, $\lambda = V\,T = \frac{V}{f}$.

C'est aussi la plus petite distance entre deux points du milieu qui vibrent en phase.

Longueur d'onde $\lambda = V\,T$: plus petite distance entre deux points vibrant en phase.

COMPRENDRE
La période T caractérise la périodicité temporelle, la longueur d'onde λ la périodicité spatiale ; la célérité relie les deux.

3.3.1 À quelle grandeur correspond la distance $X_1 - X_0$?

En X_0 puis en X_1, le récepteur vibre en phase avec l'émetteur, et c'est la première position de retour en phase : $X_1 - X_0$ est la plus petite distance entre deux points vibrant en phase.

$X_1 - X_0 = \lambda$

COMPRENDRE
Sur la figure 10, les deux sinusoïdes passent par leurs maximums aux mêmes instants : c'est cela, « en phase ». Leurs amplitudes diffèrent, ce qui n'a pas d'importance.

3.3.2 Que représente la distance $X_{10} - X_0$?

Entre deux positions successives de mise en phase, le récepteur se déplace de λ. Entre X_0 et la dixième remise en phase, il se déplace de dix longueurs d'onde.

$X_{10} - X_0 = 10\,\lambda$

PIÈGE
Répondre $11\,\lambda$ en comptant les positions au lieu des intervalles : X_0 est le point de départ.

3.3.3 Calculer la longueur d'onde sachant que $X_{10} - X_0 = 8{,}5$ cm.

Données utiles $X_{10} - X_0 = 8{,}5$ cm ; $X_{10} - X_0 = 10\,\lambda$ (Q3.3.2)

$$\lambda = \frac{X_{10} - X_0}{10} = \frac{8{,}5 \times 10^{-2}}{10} = 8{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$\lambda = 8{,}5 \times 10^{-3}\ \text{m} = 8{,}5\ \text{mm}$

MÉTHODE
Mesurer plusieurs longueurs d'onde puis diviser réduit l'incertitude relative : une erreur de lecture de 1 mm pèse dix fois moins.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{8.5 \times 10^{-2}}{10}$ ≈ 0.0085

3.3.4 Comparer la valeur trouvée à la valeur théorique, avec une célérité du son dans l'air de 345 m·s⁻¹ ; conclure.

Données utiles $V = 345\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f = 40$ kHz ; $\lambda_{\text{exp}} = 8{,}5 \times 10^{-3}$ m (Q3.3.3)

$$\lambda_{\text{th}} = \frac{V}{f} = \frac{345}{40 \times 10^3} = 8{,}6 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

Écart relatif :

$$\frac{|\lambda_{\text{exp}} - \lambda_{\text{th}}|}{\lambda_{\text{th}}} = \frac{|8{,}5 \times 10^{-3} - 8{,}625 \times 10^{-3}|}{8{,}625 \times 10^{-3}} \approx 1{,}4\ \%$$

$\lambda_{\text{th}} = 8{,}6$ mm contre $\lambda_{\text{exp}} = 8{,}5$ mm : écart d'environ 1 %, la mesure est en bon accord avec la théorie.

PIÈGE
Laisser f en kilohertz : on obtiendrait $\lambda = 8{,}6$ m, valeur absurde.

COMPRENDRE
On garde la valeur non arrondie $8{,}625$ mm dans le calcul de l'écart ; avec $8{,}6$ mm on trouverait 1,2 %. Les deux conduisent à la même conclusion.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{345}{40 \times 10^3}$ ≈ 0.008625

$\frac{8.625 \times 10^{-3} - 8.5 \times 10^{-3}}{8.625 \times 10^{-3}}$ ≈ 0.01449275