Le téléphone pot de yaourt

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 Partie A. Identifier la chaîne des milieux de propagation des ondes mécaniques, de la bouche de la personne qui parle à l'oreille de celle qui écoute.

L'onde traverse successivement cinq milieux matériels :

air → fond du premier pot → fil → fond du second pot → air.

COMPRENDRE
Une onde mécanique transporte de l'énergie sans transport de matière : chaque milieu vibre sur place et transmet la perturbation au suivant.

2 Partie A. Attribuer aux figures 2 et 3 les termes d'onde longitudinale et d'onde transversale, en justifiant.

Dans les deux cas, l'onde se propage le long de l'axe du ressort.

Figure 2 : les spires se déplacent perpendiculairement à l'axe, donc perpendiculairement à la direction de propagation. L'onde est **transversale**.

Figure 3 : les spires se déplacent le long de l'axe, donc parallèlement à la direction de propagation. L'onde est **longitudinale**.

Figure 2 (cisaillement) : onde transversale ; figure 3 (compression) : onde longitudinale.

MÉTHODE
Comparer toujours deux directions : celle du déplacement des points du milieu et celle de la propagation. Perpendiculaires : transversale. Parallèles : longitudinale.

1 Partie B. À partir de l'enregistrement de la figure 5, déterminer le retard τ avec lequel le point B est atteint par le signal, par rapport au point A.

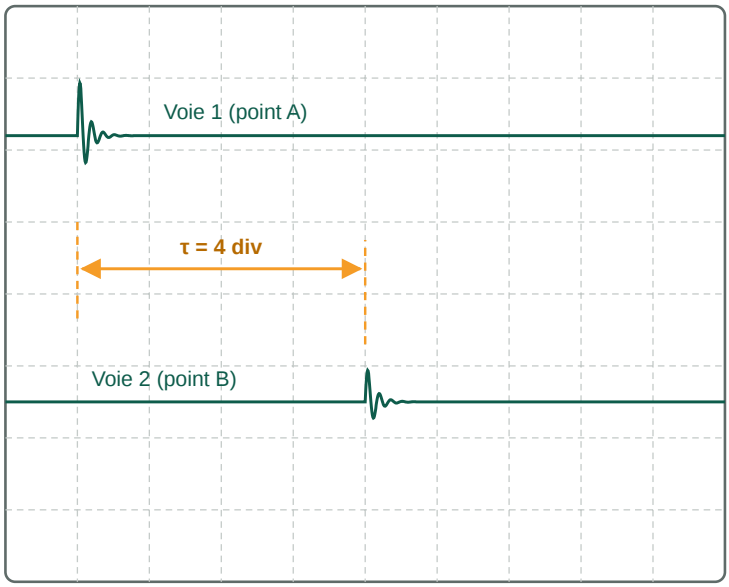
Données utiles sensibilité horizontale : 5 ms / div

Le signal débute sur la voie 1 à la première division et sur la voie 2 à la cinquième : les deux débuts sont séparés de 4 divisions.

$\tau = 4 \times 5 = 20 \text{ ms}$

$\tau = 20 \text{ ms} = 2{,}0 \times 10^{-2} \text{ s}$

PIÈGE
Utiliser la sensibilité verticale (1 mV / div) au lieu de la sensibilité horizontale, ou mesurer entre deux points qui ne se correspondent pas. On repère le début du signal sur chaque voie.



Sensibilité horizontale : 5 ms / div
Sensibilité verticale : 1 mV / div

1 · Figure 5 du sujet : lecture du retard entre les deux voies

2 Partie B. Donner l'expression de la célérité v de l'onde sur le fil en fonction de D et τ, la calculer, puis la comparer à la célérité du son dans l'air. Quelle propriété justifie ce résultat ?

Données utiles $D = 20\ \text{m}$; $\tau = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{s}$ (Q1) ; $v_{\text{air}} = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

L'onde parcourt la distance D entre A et B pendant la durée τ :

$$v = \frac{D}{\tau} = \frac{20}{2{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$\dfrac{v}{v_{\text{air}}} = \dfrac{1{,}0 \times 10^{3}}{340} \approx 3$: l'onde est environ trois fois plus rapide sur le fil que le son dans l'air.

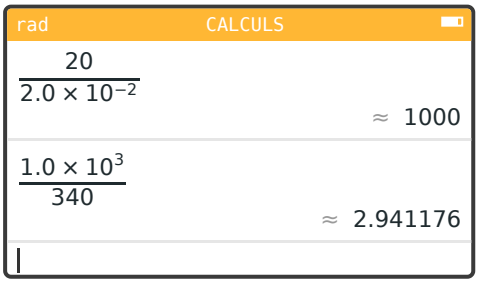
La célérité d'une onde mécanique dépend du milieu de propagation : elle est plus grande dans un solide, plus rigide, que dans un gaz.

> $v = \dfrac{D}{\tau} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, environ $3\,v_{\text{air}}$: la célérité dépend du milieu.

PIÈGE
Laisser τ en millisecondes : on obtiendrait $1{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. « Comparer » demande une conclusion chiffrée, pas seulement « plus grande ».

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme D et τ : on écrit $1{,}0 \times 10^{3}$ et non 1000, qui en afficherait quatre.

À LA CALCULATRICE



3 Partie B. Retrouver par analyse dimensionnelle la bonne expression de la célérité parmi (1) $v = \sqrt{\dfrac{\mu}{k\,L}}$, (2) $v = \sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$ et (3) $v = \dfrac{k\,L}{\mu}$.

Données utiles k en $\mathrm{kg \cdot s^{-2}}$; μ en $\mathrm{kg \cdot m^{-1}}$; L en m

D'après les unités : k est une masse divisée par un temps au carré, μ une masse divisée par une longueur. En unités :

$$\frac{k\,L}{\mu} \text{ s'exprime en } \frac{\mathrm{kg \cdot s^{-2} \cdot m}}{\mathrm{kg \cdot m^{-1}}} = \mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$$

Le quotient $\dfrac{k\,L}{\mu}$ a donc la dimension du carré d'une vitesse.

- (3) : v serait en $\mathrm{m^2 \cdot s^{-2}}$: à rejeter.
- (1) : $\sqrt{\dfrac{\mu}{k\,L}}$ est en $\mathrm{s \cdot m^{-1}}$, l'inverse d'une vitesse : à rejeter.
- (2) : $\sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$ est en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$: homogène à une vitesse.

Expression (2) : $v = \sqrt{\dfrac{k\,L}{\mu}}$

COMPRENDRE
L'analyse dimensionnelle élimine les expressions impossibles ; elle ne prouve pas la formule et ne dit rien d'un éventuel facteur numérique sans unité.

MÉTHODE
Remplacer chaque grandeur par son unité de base (kg, m, s), simplifier, puis comparer à l'unité attendue, ici $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Une seule expression doit convenir.

4 Partie B. Calculer la célérité de l'onde sur le fil ER.

Données utiles $k = 20\ \mathrm{kg \cdot s^{-2}}$; $L = 50\ \mathrm{m}$; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg \cdot m^{-1}}$

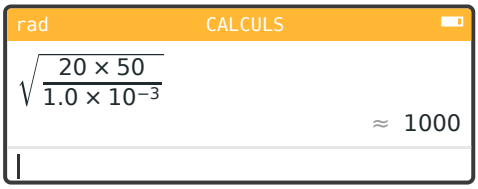
$$v = \sqrt{\frac{k\,L}{\mu}} = \sqrt{\frac{20 \times 50}{1{,}0 \times 10^{-3}}} = 1{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Le modèle redonne la valeur mesurée à la question 2.

$v = 1{,}0 \times 10^{3}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, en accord avec la mesure.

PIÈGE
Oublier la racine carrée : on trouverait $1{,}0 \times 10^{6}$, valeur sans rapport avec la mesure. Comparer au résultat expérimental sert de contrôle.

À LA CALCULATRICE



5 Partie B. Expliquer pourquoi l'amplitude du signal au point B (voie 2) est plus faible qu'au point A (voie 1).

Le point B est plus éloigné de la source que le point A. Au cours de la propagation, une partie de l'énergie de l'onde est dissipée dans le fil (frottements, échauffement) : l'onde est amortie.

L'amplitude diminue quand la distance parcourue augmente : l'onde s'amortit le long du fil.

COMPRENDRE
L'amortissement modifie l'amplitude, pas la période : les deux voies gardent la fréquence imposée par le haut-parleur.

6 Partie B. À partir de l'enregistrement de la figure 7, déterminer la fréquence de l'onde qui se propage dans le fil.

Données utiles sensibilité horizontale : 1 ms / div

Sur la voie 1, deux maximums consécutifs sont séparés de 5 divisions :

$$T = 5 \times 1 = 5{,}0 \text{ ms} = 5{,}0 \times 10^{-3} \text{ s}$$

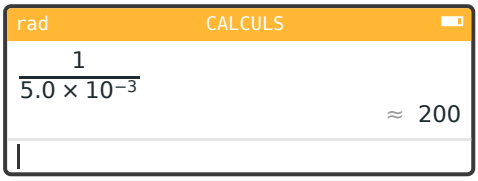
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-3}} = 2{,}0 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$f = 2{,}0 \times 10^{2}$ Hz

PIÈGE
Calculer $1/5$ en gardant la période en millisecondes : $0{,}2$ n'est pas une fréquence en hertz.

MÉTHODE
Pour une lecture plus précise, mesurer plusieurs périodes entre deux points identiques de la courbe (deux maximums, ou deux passages par zéro dans le même sens), puis diviser.

À LA CALCULATRICE



7 Partie B. Les signaux retrouvent la même configuration pour $D = 25{,}0$ m, $30{,}0$ m, $35{,}0$ m… a) En déduire la longueur d'onde λ, puis la célérité v. b) Représenter sur l'annexe la voie 2 pour $D = 27{,}5$ m.

Données utiles $f = 2{,}0 \times 10^{2}$ Hz (Q6) ; même configuration à $D = 20{,}0$ m

a) Sur la figure 7, les deux signaux sont en phase. Ils le redeviennent chaque fois que D augmente d'une longueur d'onde, plus petite distance séparant deux points qui vibrent en phase :

$$\lambda = 25{,}0 - 20{,}0 = 5{,}0 \text{ m}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = 5{,}0 \times 2{,}0 \times 10^{2} = 1{,}0 \times 10^{3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

On retrouve la valeur des questions 2 et 4.

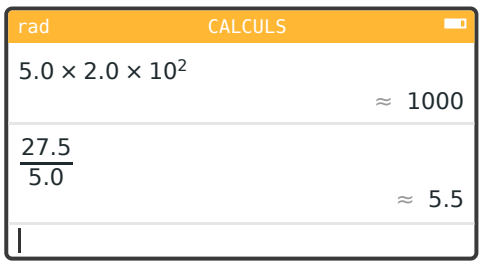
b) $27{,}5 = 25{,}0 + 2{,}5$, soit $D = 5\,\lambda + \frac{\lambda}{2}$: B vibre en opposition de phase avec A. La voie 2 est maximale quand la voie 1 est minimale, avec la même période. B étant plus loin, son amplitude est plus faible que sur la figure 7.

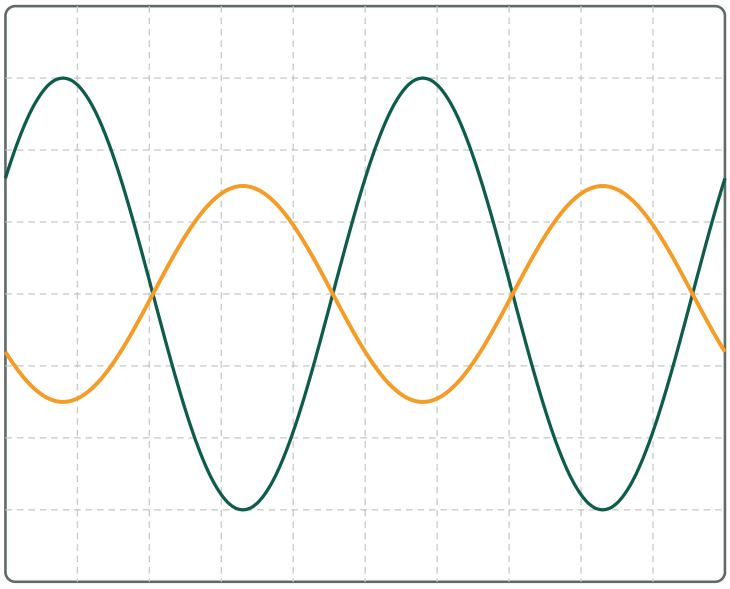
$\lambda = 5{,}0$ m ; $v = \lambda f = 1{,}0 \times 10^{3}$ m · s^{-1} ; pour $D = 27{,}5$ m, voie 2 en opposition de phase, d'amplitude réduite.

PIÈGE
Prendre $\lambda = 20{,}0$ m : rien ne dit que A et B sont alors séparés d'une seule longueur d'onde. C'est l'écart entre deux positions successives de même configuration qui donne λ.

MÉTHODE
En phase : $D = n\,\lambda$. En opposition de phase : $D = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$, avec n entier. Calculer D/λ suffit pour trancher.

À LA CALCULATRICE





7 · Annexe complétée : la voie 2 (en orange) est en opposition de phase avec la voie 1

8 Partie B. Qu'est-ce qu'un milieu dispersif ? Quelle serait la conséquence sur les signaux reçus si le fil était un milieu très dispersif ?

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

La voix contient de nombreuses fréquences. Dans un fil très dispersif, elles ne mettraient pas toutes la même durée pour parcourir le fil : les sons graves et les sons aigus émis au même instant arriveraient décalés.

Milieu dispersif : v dépend de f. Le signal reçu serait déformé et la voix difficilement compréhensible.

COMPRENDRE
L'air n'est pas dispersif pour les sons audibles : dans une salle de concert, graves et aigus joués ensemble arrivent ensemble, même au dernier rang.

9 Partie B. Quelle différence fondamentale existe-t-il entre la propagation des ondes du téléphone « pot de yaourt » et celle des ondes d'un téléphone portable ?

Les ondes du téléphone « pot de yaourt » sont mécaniques : elles ont besoin d'un milieu matériel (air, pot, fil) pour se propager. Les ondes d'un téléphone portable sont électromagnétiques, comme la lumière.

Une onde électromagnétique se propage dans le vide ; une onde mécanique ne le peut pas.

PIÈGE
Répondre seulement par la différence de célérité. Elle est réelle, mais la différence fondamentale attendue porte sur la nécessité d'un milieu matériel.