Spécialité : Tuyaux sonores

Bac S 2008 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Caractériser l'onde sonore qui se propage dans l'air à l'aide du vocabulaire proposé.

Le son a besoin d'un milieu matériel (l'air) pour se propager : l'onde est **mécanique**.

Elle s'éloigne de la source en transportant de l'énergie, sans transport de matière : elle est **progressive**.

Les tranches d'air vibrent dans la direction de propagation (compressions et dilatations) : elle est **longitudinale**.

L'onde sonore est une onde mécanique, progressive et longitudinale.

PIÈGE
Ne pas retenir « stationnaire » : le son émis à l'air libre se propage. Ne pas retenir non plus « électromagnétique » : le son ne traverse pas le vide.

1.2 L'auditeur peut-il déterminer la direction de la source S, située à 7,20 m de son oreille droite et à 7,10 m de son oreille gauche ?

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ à 15 °C ; $d_D = 7{,}20$ m ; $d_G = 7{,}10$ m ; retard minimal : $1{,}0 \times 10^{-4}$ s

Le son met la durée $t_G = \dfrac{d_G}{v}$ pour atteindre l'oreille gauche et $t_D = \dfrac{d_D}{v}$ pour atteindre l'oreille droite.

Retard entre les deux oreilles :

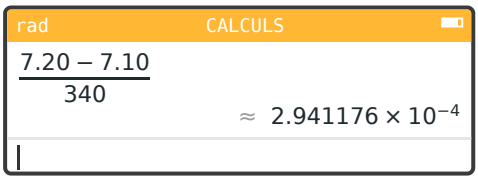
$$\tau = t_D - t_G = \frac{d_D - d_G}{v} = \frac{7{,}20 - 7{,}10}{340} = 2{,}9 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

$\tau = 2{,}9 \times 10^{-4}$ s $> 1{,}0 \times 10^{-4}$ s : l'auditeur peut déterminer la direction de la source.

COMPRENDRE
La différence $7{,}20 - 7{,}10 = 0{,}10$ m n'a que deux chiffres significatifs : le retard s'écrit donc avec deux chiffres.

MÉTHODE
Un retard entre deux récepteurs se calcule avec la différence des distances à la source, divisée par la célérité. Inutile de calculer séparément chaque durée de parcours.

À LA CALCULATRICE



2.1.1 À quel type d'ondes appartient le mode de vibration de la colonne d'air ?

La colonne d'air présente des ventres V et un nœud N de vibration dont la position est fixe : il n'y a pas de propagation apparente.

Le mode de vibration de la colonne d'air est une onde stationnaire.

COMPRENDRE
L'onde stationnaire résulte de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie aux extrémités du tuyau, de même fréquence et de sens opposés.

2.1.2 Parmi l'intensité, la hauteur et le timbre, quelle caractéristique d'un son correspond à sa fréquence ?

La fréquence du son (celle de son fondamental) correspond à sa hauteur.

COMPRENDRE
Hauteur, timbre et harmoniques relevaient de l'enseignement de spécialité de l'ancien programme ; ces notions ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale. L'intensité sonore, elle, y figure toujours.

2.1.3 Pour une corde tendue entre deux points fixes, donner la distance entre deux ventres ou deux nœuds successifs en fonction de la longueur d'onde. En déduire la relation entre L, v et f pour le tuyau.

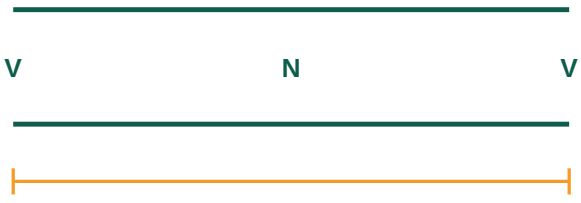
Sur une corde tendue, deux nœuds successifs (ou deux ventres successifs) sont séparés par une demi-longueur d'onde : $d = \frac{\lambda}{2}$.

Dans le mode fondamental, le tuyau ouvert porte un ventre à chaque extrémité et aucun autre ventre entre les deux. Sa longueur est donc la distance entre deux ventres successifs : $L = \frac{\lambda}{2}$.

Or $\lambda = \frac{v}{f}$, donc :

$$L = \frac{v}{2f}$$

PIÈGE
Écrire $L = \lambda$ en comptant « un fuseau entier » : entre les deux ventres V, il n'y a qu'une demi-longueur d'onde.



2.1.3 · Tuyau ouvert aux deux extrémités, mode fondamental

2.1.4 Justifier l'affirmation : « À un tuyau sonore long correspond un son grave ».

D'après 2.1.3, $f = \frac{v}{2L}$: à célérité v fixée, la fréquence du fondamental est inversement proportionnelle à la longueur du tuyau.

Plus L est grande, plus f est faible. Or un son de faible fréquence est un son grave.

Un tuyau long émet un son de basse fréquence, donc grave : l'affirmation est justifiée.

2.1.5 Exprimer en fonction de f la longueur L_2 du tuyau dont le fondamental correspond à l'harmonique de rang 2 du tuyau de longueur L. En déduire la relation entre L_2 et L.

L'harmonique de rang 2 du tuyau de longueur L a pour fréquence $f_2 = 2f$.

Cette fréquence est celle du fondamental du tuyau de longueur L_2 ; la relation de 2.1.3 donne :

$$L_2 = \frac{v}{2f_2} = \frac{v}{4f}$$

Comme $L = \frac{v}{2f}$:

$$L_2 = \frac{v}{4f} = \frac{L}{2}$$

COMPRENDRE
Diviser par deux la longueur d'un tuyau double la fréquence de son fondamental : le son monte d'une octave. Les harmoniques de rang n ont pour fréquence $f_n = nf$.

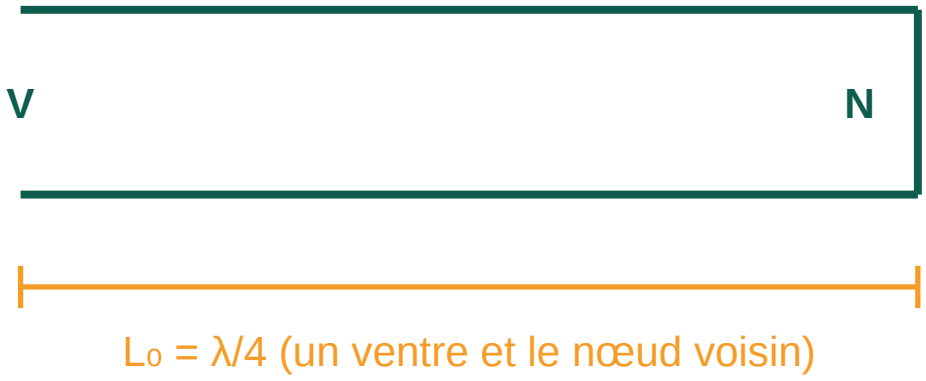
2.2.1 Par analogie avec une corde tendue entre deux points fixes, exprimer la fréquence f_0 du mode fondamental du tuyau fermé à une extrémité en fonction de v et L_0.

Sur une corde, un ventre et le nœud voisin sont séparés par un quart de longueur d'onde (la moitié de la distance entre deux nœuds).

Dans le mode fondamental, le tuyau porte un ventre à l'extrémité ouverte et un nœud à l'extrémité fermée, sans autre nœud ni ventre : $L_0 = \dfrac{\lambda}{4}$.

Avec $\lambda = \dfrac{v}{f_0}$: $L_0 = \dfrac{v}{4f_0}$, d'où :

$$\boxed{f_0 = \frac{v}{4L_0}}$$



2.2.1 · Tuyau fermé à une extrémité, mode fondamental

2.2.2 « Un tuyau ouvert aux deux extrémités sonne avec une fréquence double de celle d'un tuyau de même longueur, fermé à une extrémité. » Vrai ou faux ? Justifier.

Tuyau ouvert aux deux extrémités, de longueur L : $f = \dfrac{v}{2L}$ (2.1.3).

Tuyau fermé à une extrémité, de même longueur $L_0 = L$: $f_0 = \dfrac{v}{4L}$ (2.2.1).

Rapport des fréquences : $\dfrac{f}{f_0} = \dfrac{v}{2L} \times \dfrac{4L}{v} = 2$.

$f = 2f_0$: l'affirmation est vraie.

COMPRENDRE
Fermer l'extrémité d'un tuyau abaisse le son d'une octave. Les facteurs d'orgues obtiennent ainsi des sons graves avec des tuyaux deux fois plus courts.

2.3.1 Exprimer la célérité v à la température absolue T, puis v' à la température T'. En déduire v' en fonction de T, T' et v.

La célérité est proportionnelle à $\sqrt{T}$; en notant k le coefficient de proportionnalité :

$$v = k\sqrt{T} \qquad \text{et} \qquad v' = k\sqrt{T'}$$

En divisant membre à membre, k s'élimine : $\dfrac{v'}{v} = \dfrac{\sqrt{T'}}{\sqrt{T}}$.

$$\boxed{v' = v\sqrt{\frac{T'}{T}}}$$

PIÈGE
Écrire $v = kT$: la proportionnalité porte sur la racine carrée de la température absolue, pas sur la température elle-même.

2.3.2 Montrer que la nouvelle fréquence est $f' = \sqrt{\frac{T'}{T}}\, f$.

La longueur L du tuyau ne change pas avec la température de l'air. La relation de 2.1.3 s'écrit donc, pour chaque température :

$$f = \frac{v}{2L} \qquad \text{et} \qquad f' = \frac{v'}{2L}$$

D'où $\frac{f'}{f} = \frac{v'}{v} = \sqrt{\frac{T'}{T}}$ d'après 2.3.1.

$f' = \sqrt{\frac{T'}{T}}\, f$: c'est bien la relation attendue.

COMPRENDRE
La longueur d'onde est imposée par le tuyau ($\lambda = 2L$) : elle reste la même. Seule la célérité change, donc la fréquence la suit.

2.3.3 L'oreille distingue deux sons si $\log\left(\frac{f'}{f}\right)$ est supérieur à 5×10^{-3}. Peut-elle distinguer deux sons émis avec un écart de température de 7 °C ?

Données utiles $\theta = 15$ °C ; $\theta' = 22$ °C ; $T = 273{,}15 + \theta$; $f' = \sqrt{\frac{T'}{T}}\, f$ (2.3.2)

Températures absolues : $T = 273{,}15 + 15 = 288{,}15$ K et $T' = 273{,}15 + 22 = 295{,}15$ K.

D'après 2.3.2 : $\frac{f'}{f} = \sqrt{\frac{T'}{T}}$, donc

$$\log\left(\frac{f'}{f}\right) = \frac{1}{2}\log\left(\frac{T'}{T}\right) = \frac{1}{2}\log\left(\frac{295{,}15}{288{,}15}\right) = 5{,}2 \times 10^{-3}$$

Cette valeur dépasse 5×10^{-3}, mais de très peu.

$\log\left(\frac{f'}{f}\right) = 5{,}2 \times 10^{-3} > 5 \times 10^{-3}$: l'oreille peut distinguer les deux sons, mais elle est à la limite de sa sensibilité.

PIÈGE
Utiliser les températures en degrés Celsius : $\sqrt{22/15}$ donnerait un écart énorme et faux. La loi en $\sqrt{T}$ n'est valable qu'avec la température absolue, en kelvins.

COMPRENDRE
Le seuil n'est donné qu'avec un chiffre significatif : la conclusion doit rester nuancée. En fréquence, le son passe de 262 Hz à environ 265 Hz.

À LA CALCULATRICE

