Spécialité : Le didjeridoo instrument de musique traditionnel

Bac S 2006 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Première partie. Les ondes sonores sont-elles des ondes transversales ou longitudinales ? Justifier.

Lors du passage d'un son, les tranches d'air se déplacent (compressions et dilatations) parallèlement à la direction dans laquelle l'onde se propage.

Les ondes sonores sont des ondes **longitudinales**.

COMPRENDRE
Une onde est transversale quand la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation, comme sur une corde ou à la surface de l'eau.

2 Exprimer la longueur d'onde λ_1 en fonction de la longueur L du tuyau. Justifier.

Dans une onde stationnaire, deux nœuds voisins sont séparés par $\frac{\lambda}{2}$; un nœud et le ventre voisin sont donc séparés par $\frac{\lambda}{4}$.

Sur la figure 1, le tuyau contient uniquement un nœud (extrémité fermée) et un ventre (extrémité ouverte) : $L = \frac{\lambda_1}{4}$.

$\lambda_1 = 4L$

PIÈGE
Écrire $L = \frac{\lambda_1}{2}$: ce serait vrai entre deux nœuds (corde fixée aux deux bouts), pas entre un nœud et un ventre.

3 En déduire que la fréquence du mode fondamental s'écrit $f_1 = \frac{v}{4L}$.

Célérité, longueur d'onde et fréquence sont liées par $v = \lambda_1 f_1$, donc $f_1 = \frac{v}{\lambda_1}$.

Avec $\lambda_1 = 4L$ (question 2) :

$f_1 = \frac{v}{4L}$, ce qui est bien l'expression attendue.

4.1 Déterminer à partir de l'oscillogramme de la figure 2a la fréquence f_1 du mode fondamental. Ce son est-il grave ou aigu ?

Données utiles figure 2a : 5 motifs identiques entre $t = 40$ ms et $t = 100$ ms

On mesure plusieurs périodes pour réduire l'incertitude de lecture : $5\,T_1 = 100 - 40 = 60$ ms, donc $T_1 = \frac{60}{5} = 12$ ms.

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{12 \times 10^{-3}} = 83 \text{ Hz}$$

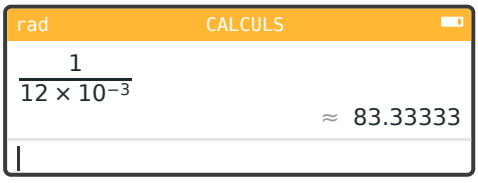
L'oreille perçoit les sons de 20 Hz à 20 kHz : 83 Hz se situe tout en bas de cet intervalle.

$f_1 = 83$ Hz : la fréquence est faible, le son est **grave**.

PIÈGE
Laisser T_1 en millisecondes : $\frac{1}{12}$ donne 0,083 et non des hertz. Convertir en secondes avant d'inverser.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la lecture de T_1. Le pic unique de la figure 2b, un peu au-dessus de 80 Hz, confirme la valeur. La hauteur d'un son n'est plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE



4.2 En déduire la longueur L du didjéridoo utilisé.

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1 = 83$ Hz (Q4.1)

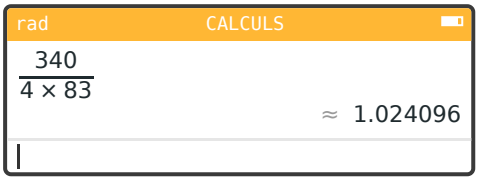
D'après la question 3, $f_1 = \dfrac{v}{4L}$, donc $L = \dfrac{v}{4f_1}$.

$$L = \frac{340}{4 \times 83} = 1{,}0\ \text{m}$$

$L = 1{,}0$ m

COMPRENDRE
Le résultat est cohérent avec le texte d'introduction, qui décrit une trompe « longue de plus d'un mètre ».

À LA CALCULATRICE



5 Quelle devrait être la longueur minimale d'un tuyau ouvert aux deux extrémités (type flûte) pour donner une note de même hauteur ?

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1 = 83$ Hz (Q4.1)

Même hauteur signifie même fréquence fondamentale f_1, donc même longueur d'onde $\lambda_1 = \dfrac{v}{f_1}$.

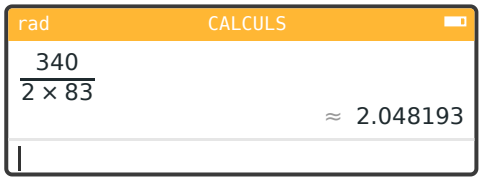
Un tuyau ouvert aux deux bouts présente un ventre à chaque extrémité. Le tuyau le plus court contient un seul nœud entre ces deux ventres : sa longueur est la distance entre deux ventres voisins.

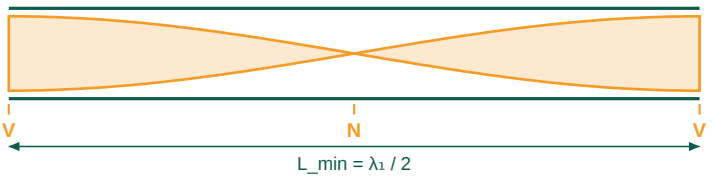
$$L_{\text{min}} = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{v}{2f_1} = \frac{340}{2 \times 83} = 2{,}0\ \text{m}$$

$L_{\text{min}} = 2{,}0$ m, soit le double de la longueur du didjéridoo.

MÉTHODE
Tuyau sonore : placer d'abord les nœuds (bout fermé) et les ventres (bout ouvert) imposés aux extrémités, puis compter les quarts de longueur d'onde contenus dans L.

À LA CALCULATRICE





5 · Tuyau ouvert aux deux extrémités, mode fondamental : un ventre à chaque bout, un seul nœud au milieu

1 Deuxième partie. En utilisant l'enregistrement de la figure 3a, déterminer la fréquence f_1' du mode fondamental du second didjéridoo.

Données utiles figure 3a : 8 motifs identiques entre les grands maximums situés à $t = 14$ ms et $t = 124$ ms

Le motif qui se répète comporte un grand maximum et un maximum secondaire : la période est la durée entre deux grands maximums successifs.

$8\,T_1' = 124 - 14 = 110$ ms, donc $T_1' = \dfrac{110}{8} = 13{,}8$ ms.

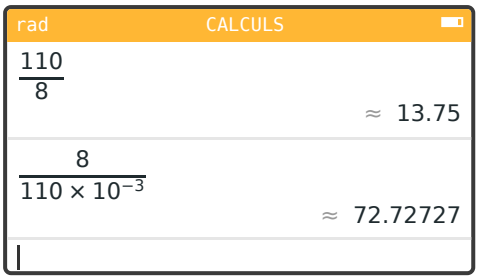
$$f_1' = \frac{1}{T_1'} = \frac{8}{110 \times 10^{-3}} = 73\ \text{Hz}$$

$f_1' = 73$ Hz

PIÈGE
Prendre pour période la durée entre deux maximums quelconques : le motif complet contient deux bosses, on trouverait une fréquence fausse.

COMPRENDRE
Le premier pic du spectre de la figure 3b, entre 70 et 80 Hz, donne la même fréquence : c'est celle du fondamental.

À LA CALCULATRICE



2 Comparer la longueur L' de ce second instrument à la longueur L du premier.

Données utiles $v = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1' = 73$ Hz (Q1) ; $L = 1{,}0$ m (Q4.2)

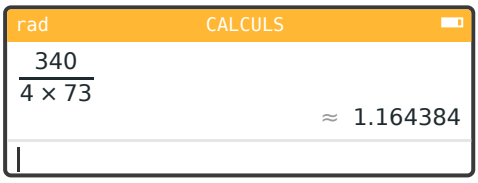
La relation de la première partie s'applique au second tuyau : $f_1' = \dfrac{v}{4L'}$, donc $L' = \dfrac{v}{4f_1'}$.

$$L' = \frac{340}{4 \times 73} = 1{,}2\ \text{m}$$

$L' = 1{,}2$ m $> L = 1{,}0$ m : le second didjéridoo est plus long que le premier.

COMPRENDRE
Sans calcul : f_1 est inversement proportionnelle à L. Le second son étant plus grave ($f_1' < f_1$), le tuyau est forcément plus long.

À LA CALCULATRICE



3 En comparant les spectres des figures 2b et 3b, indiquer la technique utilisée par l'instrumentiste dans chacun des deux cas.

Figure 2b : un seul pic notable, celui du fondamental. Le son est presque pur : c'est le bourdon, obtenu en soufflant les lèvres desserrées.

Figure 3b : en plus du fondamental, plusieurs pics d'amplitude non négligeable, donc un son riche en harmoniques. Le musicien joue les joues comprimées, la langue à l'avant de la bouche.

Figure 2b : lèvres desserrées (bourdon). Figure 3b : joues comprimées et langue en avant (son riche en harmoniques).

COMPRENDRE
Les oscillogrammes le montrent aussi : celui de la figure 2a est presque sinusoïdal, celui de la figure 3a est déformé. Harmoniques et timbre ne sont plus au programme actuel de spécialité.

4 Sur le spectre de la figure 3b, déterminer le rang n de l'harmonique ayant la plus grande amplitude après le fondamental.

Données utiles figure 3b : second pic le plus haut à $f_n \approx 2{,}2 \times 10^2$ Hz ; $f_1' = 73$ Hz (Q1)

Après le fondamental, le pic le plus haut se trouve à $f_n \approx 220$ Hz.

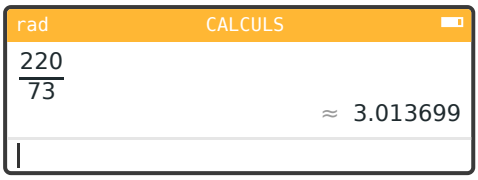
La fréquence de l'harmonique de rang n est un multiple entier de celle du fondamental : $f_n = n\, f_1'$.

$$n = \frac{f_n}{f_1'} = \frac{220}{73} \approx 3$$

$n = 3$: c'est l'harmonique de rang 3.

PIÈGE
Répondre $n = 2$ parce que c'est le deuxième pic visible. Le rang est le rapport des fréquences, pas le numéro d'ordre du pic.

À LA CALCULATRICE



5 a) Représenter les nœuds et les ventres de vibration correspondant à cet harmonique, puis exprimer L en fonction de sa longueur d'onde. b) Choisir, parmi les trois relations proposées entre L, n et λ_n, celle qui convient.

Données utiles $\lambda_1 = 4L$ (première partie, Q2) ; $n = 3$ (Q4)

a) La célérité est la même pour tous les harmoniques : $\lambda_3 = \dfrac{v}{f_3} = \dfrac{v}{3f_1} = \dfrac{\lambda_1}{3} = \dfrac{4L}{3}$, donc $L = \dfrac{3\lambda_3}{4}$.

Le tuyau contient trois quarts de longueur d'onde : en partant du bout fermé, on rencontre N, V, N, V, avec bien un nœud côté fermé et un ventre côté ouvert (schéma).

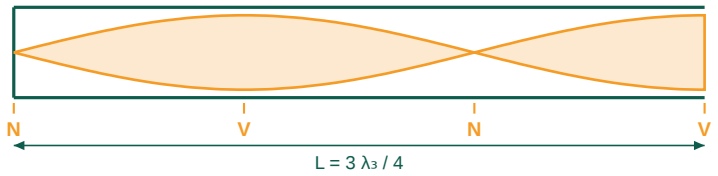
b) On teste chaque relation avec les deux résultats connus, $L = \dfrac{\lambda_1}{4}$ et $L = \dfrac{3\lambda_3}{4}$:

- relation (1) : pour $n = 1$, elle donne $L = \dfrac{\lambda_1}{2}$: elle ne convient pas ;
- relation (2) : correcte pour $n = 1$, mais pour $n = 3$ elle donne $L = \dfrac{5\lambda_3}{4}$: elle ne convient pas ;
- relation (3) : elle donne $L = \dfrac{\lambda_1}{4}$ pour $n = 1$ et $L = \dfrac{3\lambda_3}{4}$ pour $n = 3$.

a) $L = \dfrac{3\lambda_3}{4}$; b) la relation (3) convient : $L = \dfrac{n}{4}\lambda_n$.

PIÈGE
Choisir la relation (2) parce qu'elle « marche » pour $n = 1$. Une formule générale se vérifie sur tous les cas connus, ici aussi sur $n = 3$.

COMPRENDRE
Pour n pair, L serait un nombre entier de demi-longueurs d'onde : il faudrait un nœud au bout ouvert. Dans ce modèle, seuls les rangs impairs existent ; sur la figure 3b, ils dominent nettement (pics vers 73, 220, 365 et 510 Hz).



5 · Harmonique de rang 3 dans le tuyau fermé à gauche, ouvert à droite : trois demi-fuseaux

1 Troisième partie. Déterminer les intensités sonores I_1 et I_2 émises par chacun des instruments à la distance $d = 2$ m.

Données utiles $L_{S1} = 72$ dB ; $L_{S2} = 75$ dB ; $I_0 = 10^{-12}$ W · m^{-2}

On isole I dans $L_S = 10\log\dfrac{I}{I_0}$: $\log\dfrac{I}{I_0} = \dfrac{L_S}{10}$, donc $I = I_0 \times 10^{L_S/10}$.

$I_1 = 10^{-12} \times 10^{72/10} = 1{,}6 \times 10^{-5}$ W · m^{-2}

$I_2 = 10^{-12} \times 10^{75/10} = 3{,}2 \times 10^{-5}$ W · m^{-2}

$I_1 = 1{,}6 \times 10^{-5}$ W · m^{-2} et $I_2 = 3{,}2 \times 10^{-5}$ W · m^{-2}

COMPRENDRE
Un écart de 3 dB correspond à une intensité doublée : $I_2 = 2I_1$, car $10^{0{,}3} \approx 2$.

MÉTHODE
La fonction réciproque de $\log$ est 10^x : si $\log a = b$, alors $a = 10^b$. Ne pas confondre avec $\ln$ et l'exponentielle.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{72}{10}} \approx 1.584893 \times 10^{-5}$

$1 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{75}{10}} \approx 3.162278 \times 10^{-5}$

2 L'intensité sonore résultante est la somme des deux intensités. En déduire le niveau sonore L_S perçu à 2 m lorsque les deux didjéridoos jouent ensemble.

Données utiles $I_1 = 1{,}6 \times 10^{-5}$ W · m^{-2} et $I_2 = 3{,}2 \times 10^{-5}$ W · m^{-2} (Q1) ; $I_0 = 10^{-12}$ W · m^{-2}

$$I = I_1 + I_2 = 1{,}6 \times 10^{-5} + 3{,}2 \times 10^{-5} = 4{,}8 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$L_S = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \frac{4{,}8 \times 10^{-5}}{10^{-12}} = 77 \text{ dB}$$

$L_S = 77$ dB

PIÈGE
Additionner les niveaux : $72 + 75 = 147$ dB dépasserait le seuil de douleur. Ce sont les intensités qui s'ajoutent, jamais les décibels.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$10 \times \log\left(\frac{1.6 \times 10^{-5} + 3.2 \times 10^{-5}}{1 \times 10^{-12}}\right) \approx 76.81241$