Spécialité : Son émis par une corde de violoncelle

Bac S 2006 Métropole (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Comment appelle-t-on les modes de vibration de la corde de longueur L ?

La corde, fixée à ses deux extrémités, ne peut vibrer qu'à certaines fréquences bien définies : le mode fondamental et les modes harmoniques.

Ce sont les **modes propres** de vibration de la corde.

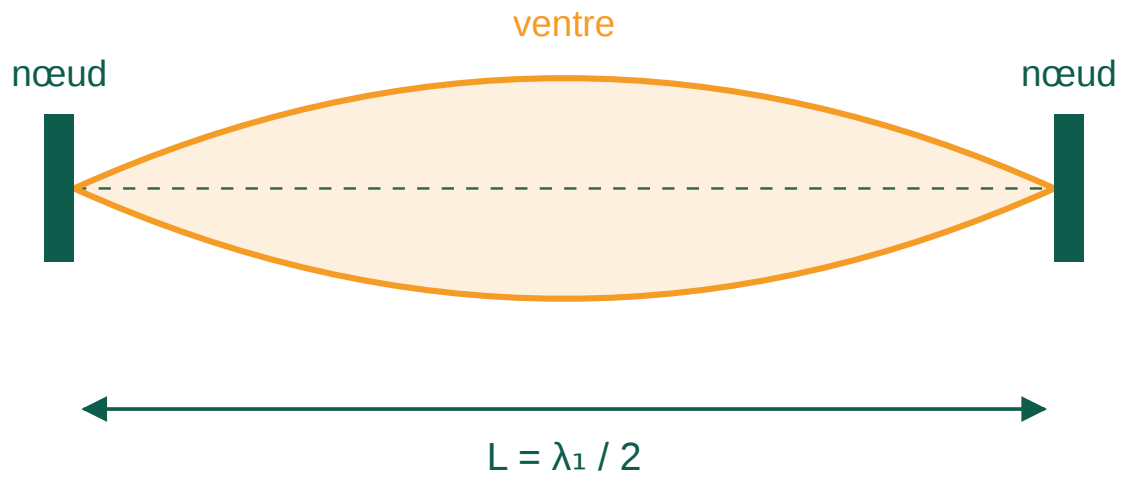
COMPRENDRE
Sujet d'ancien programme : les harmoniques, la hauteur et le timbre d'un son ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale. L'exercice reste un bon entraînement sur les ondes, la période et la fréquence.

1.2.1 Décrire l'aspect de la corde vibrant dans son mode fondamental, observée à la lumière du jour, et l'illustrer par un schéma.

La corde vibre trop vite pour que l'œil la suive : on ne distingue pas la corde elle-même, mais une zone floue en forme de fuseau, qui est la surface balayée par la corde.

Les deux extrémités fixes restent immobiles (nœuds) et l'amplitude est maximale au milieu (ventre).

On observe **un seul fuseau** entre les deux extrémités fixes.



1.2.1 · Corde vibrant dans son mode fondamental : un seul fuseau

1.2.2 Calculer la longueur d'onde λ_1 correspondant au mode fondamental.

Données utiles $L = 69{,}0$ cm

Un fuseau a pour longueur une demi-longueur d'onde. Dans le mode fondamental, la corde porte un seul fuseau : $L = \dfrac{\lambda_1}{2}$, donc $\lambda_1 = 2L$.

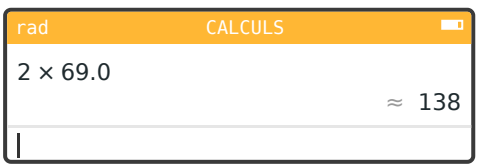
$\lambda_1 = 2 \times 69{,}0 = 138$ cm

$\lambda_1 = 138 \text{ cm} = 1{,}38 \text{ m}$

PIÈGE
Écrire $\lambda_1 = L$. La longueur de la corde vaut un nombre entier de fuseaux, donc de demi-longueurs d'onde : $L = n\,\dfrac{\lambda_n}{2}$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme L : le facteur 2 est un nombre exact, il ne limite pas la précision.

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Exploiter l'oscillogramme de la figure 7 pour déterminer la fréquence f_1 du mode fondamental.

Données utiles base de temps : 2,5 ms/div

Le signal est périodique : le même motif se répète toutes les 4 divisions environ (par exemple entre deux creux profonds successifs).

$T_1 = 4 \times 2{,}5 = 10 \text{ ms} = 10 \times 10^{-3} \text{ s}$

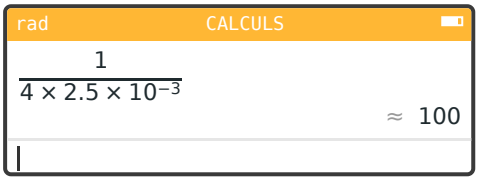
$f_1 = \dfrac{1}{T_1} = \dfrac{1}{10 \times 10^{-3}}$

$f_1 = 1{,}0 \times 10^2 \text{ Hz}$

PIÈGE
Oublier de convertir les millisecondes en secondes : on trouverait 0,10 Hz, valeur absurde pour un son audible.

MÉTHODE
L'écran affiche 10 divisions, soit 25 ms : on y compte deux motifs et demi. Mesurer plusieurs périodes puis diviser rend la lecture plus précise.

À LA CALCULATRICE



1.3.2 À quelle qualité physiologique du son cette fréquence est-elle associée ?

La fréquence du fondamental fixe la **hauteur** du son : plus elle est grande, plus le son est aigu.

1.4 Décrire la méthode qui permet de retrouver la fréquence du mode fondamental à l'aide d'un stroboscope.

On éclaire la corde vibrante avec le stroboscope, dans l'obscurité, en partant d'une fréquence d'éclairs élevée, que l'on diminue progressivement.

La corde paraît immobile, en un seul exemplaire, lorsqu'elle se retrouve dans la même position à chaque éclair, c'est-à-dire lorsque la période des éclairs est un multiple de T_1 : $T_e = k\,T_1$.

La **plus grande** fréquence des éclairs pour laquelle la corde paraît unique et immobile est égale à f_1.

PIÈGE
Partir d'une fréquence basse : l'immobilité apparaît aussi pour $f_1/2$, $f_1/3$… et l'on risque de retenir un sous-multiple de f_1.

1.5 Déduire des réponses aux questions 1.2 et 1.3 la célérité v de la vibration le long de la corde.

Données utiles $\lambda_1 = 1{,}38$ m (1.2.2) ; $f_1 = 1{,}0 \times 10^2$ Hz (1.3.1)

$v = \lambda_1 \times f_1$

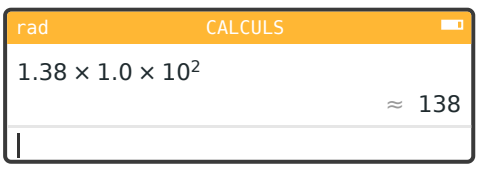
$v = 1{,}38 \times 1{,}0 \times 10^2 = 138 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, à arrondir à deux chiffres significatifs.

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

PIÈGE
Laisser λ_1 en centimètres. Cette célérité est celle de l'onde le long de la corde, pas celle du son dans l'air.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : f_1, lue sur l'oscillogramme, est la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE



1.6.1 Écrire la relation existant entre f_2 et f_1 d'une part, entre f_3 et f_1 d'autre part.

Les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de celle du fondamental : $f_n = n\,f_1$.

$f_2 = 2\,f_1$ et $f_3 = 3\,f_1$

1.6.2 Retrouver, parmi les cinq pics de la figure 8, celui du mode fondamental f_1 et ceux qui correspondent à f_2 et f_3.

Données utiles $f_1 = 1{,}0 \times 10^2$ Hz (1.3.1)

Le fondamental est le pic de plus basse fréquence : le pic (a), à 100 Hz, ce qui confirme la valeur de la question 1.3.1.

Alors $f_2 = 200$ Hz, pic (b), et $f_3 = 300$ Hz, pic (c).

f_1 : pic **(a)** ; f_2 : pic **(b)** ; f_3 : pic **(c)**

PIÈGE
Choisir (b) comme fondamental parce qu'il est le plus haut. Le fondamental est le pic de plus basse fréquence, pas celui de plus grande amplitude.

1.7 Donner, en fonction de f_1, l'expression de la fréquence f' du fondamental lorsque le violoncelliste joue la note à l'octave supérieure.

La fréquence est inversement proportionnelle à la longueur de la corde : $f \times L = \text{constante}$, donc $f' \times \dfrac{L}{2} = f_1 \times L$.

$f' = 2\,f_1$

COMPRENDRE
Monter d'une octave revient à doubler la fréquence. Ici $f' \approx 200$ Hz, la célérité v restant la même puisque la corde et sa tension ne changent pas.

2.1 Exploiter la figure 9 pour indiquer si la hauteur du son est modifiée par rapport à celle du son étudié dans la partie 1.

Données utiles base de temps : 2,5 ms/div

Sur la figure 9, le motif se répète aussi toutes les 4 divisions environ : $T = 4 \times 2{,}5 = 10$ ms, comme sur la figure 7.

Même période, donc même fréquence du fondamental, environ 100 Hz.

La hauteur du son **n'est pas modifiée**.

2.2 En comparant les figures 7 et 9, indiquer la caractéristique physiologique du son qui a été modifiée. Justifier.

Les deux signaux ont la même période, mais la forme du motif n'est pas la même : la répartition de l'amplitude entre les harmoniques diffère.

C'est le **timbre** du son qui est modifié.

COMPRENDRE
Deux sons de même hauteur se distinguent par leur timbre : c'est ce qui permet de reconnaître la corde frottée de la corde pincée, ou deux instruments jouant la même note.

3 En comparant les spectres des figures 8 et 10, indiquer la conséquence de cette technique sur les caractéristiques physiologiques du son produit.

Figure 8 : le pic de plus basse fréquence est à 100 Hz.

Figure 10 : le premier pic est à 200 Hz et les suivants sont à des multiples de 200 Hz (400 Hz, 600 Hz…). Le fondamental est donc à 200 Hz, soit $2\,f_1$.

La fréquence du fondamental a doublé : la hauteur est modifiée. Le nombre et les amplitudes relatives des harmoniques changent aussi, donc le timbre également.

Le son est **plus aigu, d'une octave** (fondamental à 200 Hz) et son timbre est différent.

COMPRENDRE
Effleurer la corde en son milieu y impose un nœud : seuls subsistent les modes qui ont un nœud au milieu, c'est-à-dire les harmoniques de rang pair du son initial.