Spécialité : Le quatuor: instruments à cordes

Bac S 2005 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 a) Attribuer à chaque corde de la figure la note correspondante (sol2, ré3, la3, mi4), en justifiant. b) Calculer la célérité v des ondes dans la corde de masse linéique μ.

Données utiles $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$; $L = 330\ \text{mm}$ et $F = 245\ \text{N}$ pour les quatre cordes ; $\mu = 2{,}9 \times 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$

a) D'après le texte, la note dépend de l'épaisseur, de la longueur et de la tension de la corde. Ici L et F sont identiques pour les quatre cordes : seule l'épaisseur les distingue, et une corde épaisse donne un son grave.

Sur la figure, l'épaisseur augmente de la corde 1 à la corde 4. De la plus fine à la plus épaisse : corde 1 : mi4 ; corde 2 : la3 ; corde 3 : ré3 ; corde 4 : sol2.

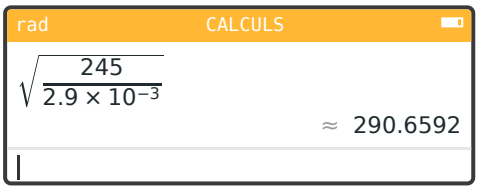
b) $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}} = \sqrt{\dfrac{245}{2{,}9 \times 10^{-3}}} = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Cordes 1, 2, 3, 4 : mi4, la3, ré3, sol2 ; $v = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou classer les notes à l'envers : dans l'énoncé, elles sont citées de la plus grave à la plus aiguë, donc de la corde 4 vers la corde 1.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme μ, la donnée la moins précise. Une corde plus épaisse a une masse linéique plus grande : l'onde y est plus lente, et la question 2 montre que la fréquence est alors plus basse.

À LA CALCULATRICE



2 a) Exprimer les fréquences f_k des modes de vibration en fonction de L et v. b) Donner la relation du mode fondamental et calculer sa fréquence pour la corde du 1.b). c) Justifier : « plus la corde est tendue, plus le son est aigu ». d) Comment jouer plus aigu sur une même corde sans changer la tension ?

Données utiles $2L = k\,\lambda$; $L = 0{,}330\ \text{m}$; $v = 2{,}9 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (question 1)

a) Pour le mode de rang k, la longueur d'onde vaut $\lambda = \dfrac{v}{f_k}$. La condition $2L = k\,\lambda$ devient $2L = k\,\dfrac{v}{f_k}$, d'où

$$f_k = k\,\frac{v}{2L}$$

b) Le mode fondamental correspond à $k = 1$: $f_1 = \dfrac{v}{2L}$.

$$f_1 = \frac{2{,}9 \times 10^{2}}{2 \times 0{,}330} = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{Hz}$$

c) Comme $v = \sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$, on a $f_1 = \dfrac{1}{2L}\sqrt{\dfrac{F}{\mu}}$. À L et μ fixées, si la tension F augmente, f_1 augmente : la fréquence étant plus élevée, le son est plus aigu.

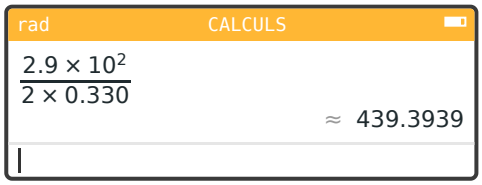
d) Pour une corde donnée et une tension inchangée, v est fixée. Comme $f_1 = \dfrac{v}{2L}$, il faut diminuer L : le violoniste appuie un doigt sur la corde pour raccourcir la partie qui vibre.

$f_k = k\,\dfrac{v}{2L}$; $f_1 = \dfrac{v}{2L} = 4{,}4 \times 10^{2}\ \text{Hz}$

PIÈGE
Laisser L en millimètres : avec $L = 330$, on trouve une fréquence mille fois trop faible. Il faut $L = 0{,}330\ \text{m}$.

MÉTHODE
Pour discuter l'effet d'un paramètre, écrire la fréquence en fonction des seules grandeurs réglables (F, L, μ), puis faire varier une seule grandeur à la fois.

À LA CALCULATRICE



3 À partir de l'oscillogramme de la figure 1 : a) déterminer la période T du signal ; b) en déduire la fréquence f_1 du mode fondamental, en justifiant.

Données utiles figure 1 : $\Delta t = 11{,}4$ ms entre les deux curseurs

a) Entre les deux curseurs, le motif du signal se répète 5 fois : $\Delta t = 5\,T$.

$$T = \frac{\Delta t}{5} = \frac{11{,}4}{5} = 2{,}28 \text{ ms}$$

b) Un son périodique de période T a pour fréquence celle de son mode fondamental :

$$f_1 = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}28 \times 10^{-3}} = 439 \text{ Hz}$$

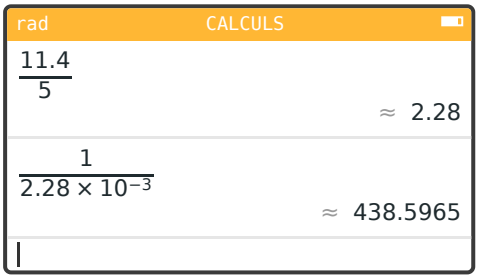
Cette valeur est en accord avec la fréquence calculée à la question 2.b).

$T = 2{,}28$ ms ; $f_1 = 439$ Hz

PIÈGE
Compter les pics au lieu des intervalles : les curseurs encadrent 6 pics mais seulement 5 périodes. Convertir aussi T en secondes avant de calculer f_1.

COMPRENDRE
Les harmoniques ont des fréquences multiples de f_1 : ils se reproduisent tous à l'identique au bout de la durée $T = \frac{1}{f_1}$, qui est donc la période du son.

À LA CALCULATRICE



4 À partir du spectre de la figure 2 : a) retrouver graphiquement la fréquence du mode fondamental ; b) indiquer les fréquences des trois premiers harmoniques qui suivent le fondamental.

Données utiles figure 2 : amplitude V_e (mV) en fonction de f (kHz) ; $f_1 = 439$ Hz (question 3)

a) Le fondamental est le pic de plus basse fréquence du spectre. Il se situe un peu avant le milieu de l'intervalle 0 – 1 kHz : $f_1 \approx 0{,}44$ kHz, en accord avec la question 3.

b) Les trois pics suivants se lisent à :

- $f_2 \approx 0{,}88$ kHz ;
- $f_3 \approx 1{,}3$ kHz ;
- $f_4 \approx 1{,}8$ kHz.

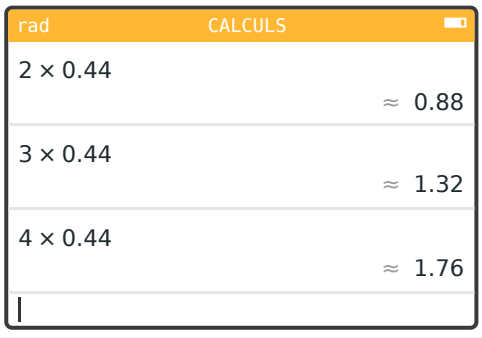
Ces fréquences sont bien des multiples de celle du fondamental : $f_k = k\,f_1$.

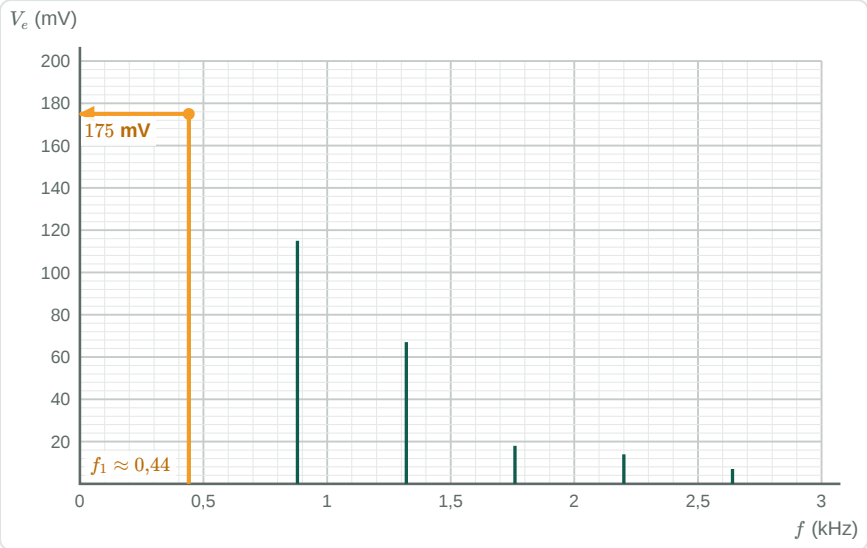
$f_1 \approx 0{,}44$ kHz ; $f_2 \approx 0{,}88$ kHz ; $f_3 \approx 1{,}3$ kHz ; $f_4 \approx 1{,}8$ kHz

COMPRENDRE
Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de terminale ; ces questions se traitent dans le cadre du programme de 2005.

MÉTHODE
Sur un spectre, vérifier la lecture en contrôlant que les pics sont régulièrement espacés : l'écart entre deux pics voisins est égal à la fréquence du fondamental.

À LA CALCULATRICE





4 · Spectre 1 du sujet (premiers pics) : lecture du fondamental

5 Second enregistrement, avec un autre instrument (figures 3 et 4). a) Qu'appelle-t-on hauteur d'un son ? Comparer la hauteur des deux sons à partir des oscillogrammes. b) Les deux sons ont-ils le même timbre ? Justifier avec les spectres.

Données utiles figure 3 : $\Delta t' = 4{,}55$ ms entre les deux curseurs ; $f_1 = 439$ Hz (question 3)

a) La hauteur d'un son est la qualité qui le fait percevoir grave ou aigu ; elle est mesurée par la fréquence de son fondamental.

Sur la figure 3, les curseurs encadrent 2 périodes : $\Delta t' = 2\,T'$, donc

$$f_1' = \frac{1}{T'} = \frac{2}{\Delta t'} = \frac{2}{4{,}55 \times 10^{-3}} = 440 \text{ Hz}$$

Aux incertitudes de lecture près, $f_1' = f_1$: les deux sons ont la même hauteur.

b) Le timbre dépend de la composition du spectre : harmoniques présents et amplitudes relatives. Les deux spectres ont le même fondamental mais diffèrent :

- sur le spectre 2, l'harmonique de rang 3 (vers 1,3 kHz) est absent, alors qu'il est net sur le spectre 1 ;
- sur le spectre 2, les harmoniques de rangs 4 et 7 (vers 1,8 kHz et 3,1 kHz) sont importants par rapport au fondamental, alors qu'ils sont très faibles sur le spectre 1.

Les deux sons n'ont donc pas le même timbre.

$f_1' = 440$ Hz $\approx f_1$: même hauteur, mais timbres différents.

PIÈGE
Comparer les amplitudes brutes des deux spectres : les échelles verticales diffèrent. Ce sont les amplitudes relatives au fondamental, et les harmoniques absents, qui caractérisent le timbre.

COMPRENDRE
Même hauteur et timbres différents : c'est ce qui permet de distinguer deux instruments jouant la même note. La forme des oscillogrammes 1 et 2 le montrait déjà.

À LA CALCULATRICE

