Spécialité : La harpe celtique

Bac S 2009 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Quelles sont les deux fonctions que doit remplir un instrument de musique pour produire un son ?

Un instrument de musique doit :

- **vibrer** : une partie de l'instrument (l'excitateur) entre en vibration ;
- **émettre** : cette vibration est communiquée à l'air environnant, où elle se propage sous forme d'onde sonore.

Deux fonctions : vibrer et émettre.

1.2 Parmi les éléments qui constituent la harpe, lesquels assurent ces deux fonctions ?

Les **cordes**, pincées par le musicien, assurent la fonction « vibrer ».

Une corde seule met très peu d'air en mouvement : le son qu'elle produit est à peine audible. Elle transmet sa vibration à la **caisse de résonance**, dont la grande surface fait vibrer l'air efficacement : la caisse assure la fonction « émettre ».

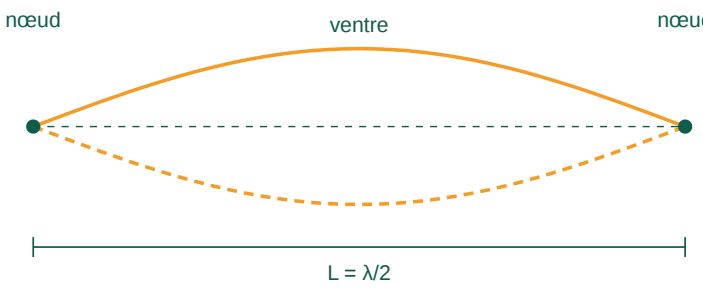
Vibrer : les cordes ; émettre : la caisse de résonance.

PIÈGE
Les palettes et les chevilles ne produisent pas le son : elles servent seulement à régler la longueur ou la tension des cordes.

2.1 Représenter l'allure de la corde « la3 » lorsqu'elle vibre dans le mode fondamental.

La corde est fixée à ses deux extrémités : ce sont deux nœuds de vibration. Dans le mode fondamental, il n'y a qu'un seul ventre, au milieu de la corde.

La corde forme un seul fuseau.



2.1 · Mode fondamental : un seul fuseau entre les deux extrémités fixes (positions extrêmes de la corde)

COMPRENDRE
Le mode de rang n présente n fuseaux. Le fondamental ($n = 1$) est le mode de plus basse fréquence.

2.2 En déduire, pour ce mode, la relation entre la longueur L de la corde et la longueur d'onde λ.

Deux nœuds consécutifs sont séparés d'une demi-longueur d'onde : un fuseau a pour longueur $\frac{\lambda}{2}$.

Dans le mode fondamental, la corde porte un seul fuseau, donc :

$L = \frac{\lambda}{2}$, soit $\lambda = 2L$

MÉTHODE
Pour le mode de rang n, la corde porte n fuseaux : $L = n\,\frac{\lambda}{2}$. Il suffit de compter les fuseaux sur le schéma.

2.3 Établir la relation liant la fréquence f du fondamental et la célérité v de l'onde sur la corde.

Données utiles $\lambda = 2L$ (2.2)

La longueur d'onde, la célérité et la fréquence sont liées par $\lambda = \dfrac{v}{f}$.

Avec $\lambda = 2L$: $\quad 2L = \dfrac{v}{f}$

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

2.4 En déduire la valeur de la célérité de l'onde se propageant sur la corde.

Données utiles $L = 72$ cm $= 0{,}72$ m ; $f = 440$ Hz (la3) ; $f = \dfrac{v}{2L}$ (2.3)

On isole la célérité : $v = 2\,L\,f$

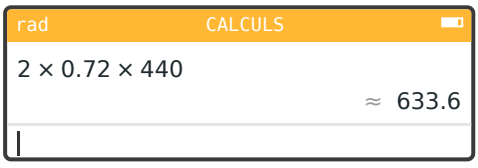
$$v = 2 \times 0{,}72 \times 440 = 6{,}3 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\boxed{v = 6{,}3 \times 10^{2}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

PIÈGE
Laisser L en centimètres : on trouverait une célérité cent fois trop grande. Il faut $L = 0{,}72$ m.

COMPRENDRE
L est donnée avec deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. C'est la célérité de l'onde le long de la corde, pas celle du son dans l'air.

À LA CALCULATRICE



2.5 Quelle devrait être la longueur L_1 d'une corde de même nature, utilisée dans les mêmes conditions, pour émettre le son « la1 » ? Une telle longueur est-elle envisageable ?

Données utiles $f_1 = 110$ Hz (la1) ; $f = 440$ Hz ; $L = 0{,}72$ m

Même corde (même μ) et mêmes conditions (même tension T) : la célérité $v = \sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$ est inchangée.

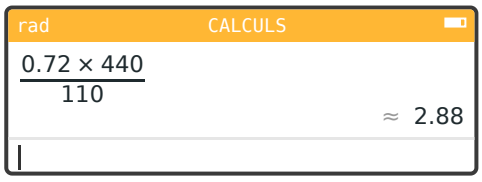
Pour le la1 : $f_1 = \dfrac{v}{2L_1}$, donc $L_1 = \dfrac{v}{2f_1}$. Comme $v = 2\,L\,f$:

$$L_1 = L \times \frac{f}{f_1} = 0{,}72 \times \frac{440}{110} = 2{,}9\ \text{m}$$

$L_1 = 2{,}9$ m : cette longueur n'est pas envisageable, l'instrument serait bien trop haut pour être joué et transporté.

MÉTHODE
À célérité fixée, le produit $L \times f$ est constant : une fréquence divisée par 4 impose une longueur multipliée par 4. Le rapport évite de réutiliser la valeur arrondie de v.

À LA CALCULATRICE



2.6 Sur quels paramètres peut-on agir, et dans quel sens, pour obtenir le son « la1 » avec une corde de longueur proche de 72 cm ?

D'après 2.3 et la relation donnée : $f = \dfrac{v}{2L} = \dfrac{1}{2L}\sqrt{\dfrac{T}{\mu}}$.

À longueur L fixée, il faut abaisser la fréquence de 440 Hz à 110 Hz, donc diminuer la célérité v. Deux possibilités :

- **diminuer la tension** T de la corde ;
- **augmenter la masse linéique** μ, en choisissant une corde plus lourde par unité de longueur (plus grosse ou d'un matériau plus dense).

Diminuer T ou augmenter μ.

COMPRENDRE
La fréquence doit être divisée par 4, donc $\dfrac{T}{\mu}$ par 16. Une corde trop détendue sonne mal : en pratique, les cordes graves sont surtout plus lourdes.

2.7 Si le musicien soulève la palette de l'une des cordes, le son émis sera-t-il plus grave ou plus aigu ? Justifier.

Soulever la palette raccourcit la corde de quelques centimètres : L diminue.

La corde et sa tension ne changent pas, donc v reste la même.
Comme $f = \dfrac{v}{2L}$, la fréquence du fondamental augmente quand L diminue.

Le son émis est plus aigu.

PIÈGE
Répondre « plus aigu » sans s'appuyer sur $f = \dfrac{v}{2L}$ et sans préciser que v est inchangée : la justification est demandée.

3.1 Le musicien joue un « do2 » (spectre n°1). Quelle est la hauteur du son émis ?

La hauteur d'un son est la fréquence de son fondamental, c'est-à-dire la plus petite fréquence présente dans le spectre.

Sur le spectre n°1, le premier pic est à 130 Hz.

Hauteur du do2 : $f_1 = 130$ Hz

PIÈGE
Le fondamental n'est pas toujours le pic le plus haut : on lit le pic de plus basse fréquence, pas celui de plus grande amplitude.

COMPRENDRE
Hauteur, timbre et harmoniques relevaient de l'enseignement de spécialité du Bac S. Ces notions ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

3.2 À quoi correspondent les différentes fréquences obtenues ? Par quelle(s) relation(s) sont-elles liées ?

Le pic à 130 Hz est le fondamental. Les autres pics sont les **harmoniques** : ils correspondent aux modes propres de vibration de la corde de rang supérieur à 1.

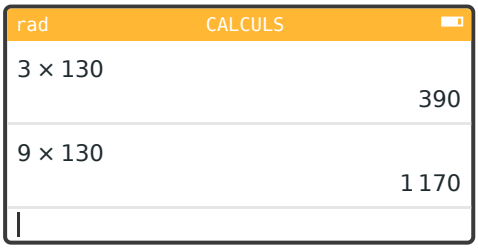
Leurs fréquences sont des multiples entiers de celle du fondamental : $f_n = n\,f_1$, avec n entier.

Vérification sur le spectre n°1 : $390 = 3 \times 130$; $650 = 5 \times 130$; $1170 = 9 \times 130$.

Ce sont les harmoniques : $f_n = n \times f_1$

COMPRENDRE
Le spectre contient neuf pics régulièrement espacés de 130 Hz. Leurs amplitudes relatives déterminent le timbre du son, pas sa hauteur.

À LA CALCULATRICE



4.1 Choisir, entre do2-do3 et do2-ré2, l'ensemble de notes à jouer pour obtenir un intervalle consonant. Justifier à l'aide des spectres.

Deux notes sont consonantes si elles ont des harmoniques en commun.

- do2 : pics à 130, 260, 390, 520, 650, 780, 910, 1040 et 1170 Hz.
- do3 : pics à 260, 520 et 780 Hz. Ces trois fréquences figurent toutes dans le spectre du do2.
- ré2 : pics à 147, 294, 441 et 588 Hz. Aucune de ces fréquences ne figure dans le spectre du do2.

Le musicien doit jouer do2-do3 : c'est l'intervalle consonant.

COMPRENDRE
Le fondamental du do3 (260 Hz) vaut le double de celui du do2 (130 Hz) : les deux notes sont séparées d'une octave, et tous les harmoniques du do3 sont aussi des harmoniques du do2.

4.2 Si deux notes sont jouées simultanément avec la même intensité sonore, le niveau sonore double-t-il ?

Données utiles $L = 10\log\dfrac{I}{I_0}$

Les intensités sonores s'ajoutent : pour deux notes de même intensité I, l'intensité totale est $I' = 2I$.

Le niveau sonore devient :

$$L' = 10\log\frac{2I}{I_0} = 10\log 2 + 10\log\frac{I}{I_0} = L + 10\log 2$$

Or $10\log 2 = 3{,}0$ dB.

$L' = L + 3$ dB : le niveau sonore ne double pas, il augmente seulement de 3 dB.

PIÈGE
Ce sont les intensités sonores I qui s'additionnent, jamais les niveaux en décibels. Écrire $L' = 2L$ est l'erreur classique.

MÉTHODE
Utiliser $\log(a \times b) = \log a + \log b$. Chaque doublement de l'intensité ajoute 3 dB ; une intensité multipliée par 10 ajoute 10 dB.

À LA CALCULATRICE

