Spécialité : La flûte traversière

Bac S 2011 La Réunion (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Comment un instrument de musique produit-il un son ?

Un instrument de musique doit remplir deux fonctions : **vibrer** (ici, la colonne d'air du tuyau est mise en vibration par le filet d'air soufflé sur l'embouchure) et **émettre**, c'est-à-dire transmettre cette vibration à l'air environnant, dans lequel le son se propage.

Un instrument produit un son en vibrant puis en émettant cette vibration dans l'air.

2.1 À l'aide du document 1, déterminer la période T_1 puis calculer la fréquence f_1 du mode fondamental.

Données utiles document 1 : tension $u_f(t)$, axe des temps gradué en ms

On mesure plusieurs périodes pour gagner en précision. Entre le premier grand maximum ($t \approx 1{,}10$ ms) et le cinquième ($t \approx 5{,}65$ ms), il y a 4 périodes :

$$4T_1 \approx 5{,}65 - 1{,}10 = 4{,}55 \text{ ms, donc } T_1 = \frac{4{,}55}{4} \approx 1{,}14 \text{ ms.}$$

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1{,}14 \times 10^{-3}} = 8{,}8 \times 10^2 \text{ Hz}$$

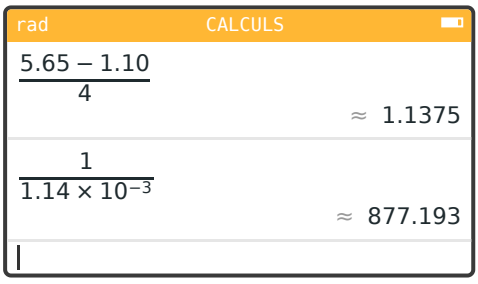
$T_1 \approx 1{,}14$ ms et $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz

PIÈGE
Laisser T_1 en millisecondes dans $f_1 = 1/T_1$: on obtiendrait $0{,}88$, qui est une fréquence en kHz et non en Hz.

COMPRENDRE
La lecture graphique est précise à quelques centièmes de milliseconde près : deux chiffres significatifs suffisent pour f_1. La période du signal est celle du mode fondamental.

MÉTHODE
Repérer un motif net (ici le plus haut maximum), compter le plus grand nombre de périodes entières visibles, puis diviser la durée lue par ce nombre.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 À l'aide du document 2, donner un encadrement de la fréquence du mode fondamental. La valeur trouvée à la question 2.1 est-elle cohérente avec cet encadrement ?

Données utiles document 2 : spectre en fréquence, axe gradué tous les 0,1 kHz ; $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz (2.1)

Le fondamental est le pic de plus basse fréquence du spectre. Il est situé entre les graduations 0,8 kHz et 0,9 kHz :

$0{,}8 \text{ kHz} < f_1 < 0{,}9 \text{ kHz}$

La valeur de la question 2.1, $f_1 \approx 0{,}88$ kHz, appartient à cet intervalle.

$0{,}8 \text{ kHz} < f_1 < 0{,}9 \text{ kHz}$: la valeur $8{,}8 \times 10^2$ Hz est cohérente.

2.2.2 Déterminer les valeurs approchées des fréquences f_2 et f_3 des deux premières harmoniques.

Données utiles document 2

On lit l'abscisse des deux pics qui suivent le fondamental : le deuxième pic est un peu avant 1,8 kHz, le troisième un peu après 2,6 kHz.

$f_2 \approx 1{,}8$ kHz et $f_3 \approx 2{,}6$ kHz

PIÈGE
Confondre hauteur du pic et fréquence. L'amplitude se lit en ordonnée ; la fréquence d'un harmonique se lit en abscisse, même si le pic est très petit comme celui de f_2.

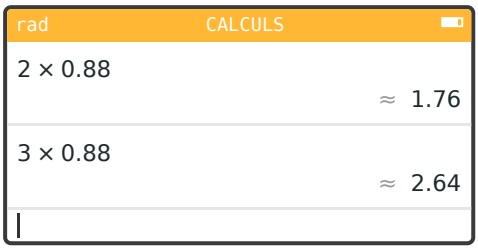
2.3 Écrire les relations théoriques existant entre f_2 et f_1 d'une part, puis entre f_3 et f_1 d'autre part.

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

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

COMPRENDRE
Les lectures le confirment : $2 \times 0{,}88 \approx 1{,}8$ kHz et $3 \times 0{,}88 \approx 2{,}6$ kHz. Les notions d'harmoniques, de hauteur et de timbre ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.

À LA CALCULATRICE



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

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

Il s'agit d'une onde stationnaire.

COMPRENDRE
Elle résulte de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie aux extrémités du tuyau, qui ont la même fréquence et se propagent en sens opposés.

3.2 Définir les termes nœud et ventre de vibration.

Nœud de vibration : point de la colonne d'air où l'amplitude de vibration est nulle à tout instant (l'air y reste immobile).

Ventre de vibration : point où l'amplitude de vibration est maximale.

Nœud : amplitude de vibration nulle ; ventre : amplitude de vibration maximale.

3.3.1 Comment le joueur peut-il modifier la longueur de la colonne d'air ?

En ouvrant ou en fermant les trous du tuyau à l'aide des clés : la colonne d'air qui vibre s'arrête au premier trou ouvert.

Le joueur modifie L en bouchant ou en débouchant les trous avec les clés.

3.3.2 Comment varie la longueur de la colonne d'air lorsque l'on passe à l'octave inférieure ? Justifier sans calcul.

Données utiles $f_1 = \dfrac{V}{4L}$; octave inférieure : fréquence divisée par 2

D'après $f_1 = \dfrac{V}{4L}$, la célérité V étant constante, la fréquence du fondamental est inversement proportionnelle à la longueur L.

Passer à l'octave inférieure revient à diviser f_1 par 2 : il faut donc multiplier L par 2.

La longueur de la colonne d'air est doublée : $L' = 2L$.

PIÈGE
Répondre « la longueur est divisée par 2 » parce que la fréquence l'est. Un son plus grave demande un tuyau plus long.

3.3.3 Déterminer la longueur L' de la colonne d'air pour cette octave inférieure.

Données utiles $V = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz (2.1)

La fréquence du fondamental à l'octave inférieure est $f_1' = \dfrac{f_1}{2}$, et $f_1' = \dfrac{V}{4L'}$. Donc :

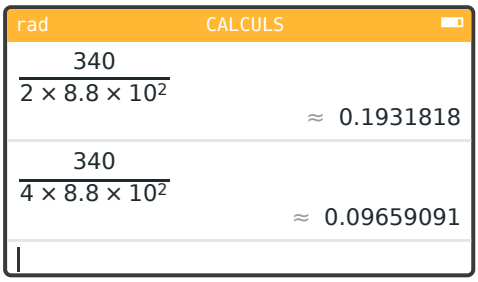
$$L' = \frac{V}{4\,f_1'} = \frac{V}{2\,f_1} = \frac{340}{2 \times 8{,}8 \times 10^2} = 0{,}19\ \text{m}$$

$L' \approx 0{,}19$ m, soit environ 19 cm

PIÈGE
Calculer $\dfrac{V}{4f_1}$ avec la fréquence de départ : on obtient L et non L'. Il faut utiliser la fréquence divisée par 2.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f_1. C'est bien le double de la longueur initiale $L = \dfrac{V}{4f_1} \approx 9{,}7$ cm.

À LA CALCULATRICE



4 Quelle grandeur physique est commune aux deux cas ? À quelle caractéristique du son cela correspond-il ?

Données utiles documents 2 et 4 : spectres de la flûte et du synthétiseur

Sur les documents 2 et 4, le pic du fondamental est à la même abscisse, un peu avant 0,9 kHz. Les deux sons ont donc la même fréquence fondamentale (les deux signaux ont d'ailleurs la même période, voisine de 1,1 ms).

La fréquence du fondamental fixe la hauteur du son.

Grandeur commune : la fréquence du fondamental ($\approx 0{,}88$ kHz) ; les deux sons ont la même hauteur.

5 Qu'est-ce qui permet de distinguer ces deux sons ? Justifier.

Données utiles documents 1 à 4

Les deux sons n'ont pas le même timbre.

Justification : les spectres contiennent les mêmes fréquences, mais les amplitudes relatives des harmoniques diffèrent. Pour la flûte, l'harmonique de fréquence f_3 atteint presque la moitié de l'amplitude du fondamental (environ 12 mV contre 27 mV) ; pour le synthétiseur, elle n'en représente qu'environ un dixième.

En conséquence, les tensions $u_f(t)$ et $u_s(t)$ ont la même période mais des formes différentes.

Le timbre distingue les deux sons : mêmes fréquences, mais harmoniques d'amplitudes relatives différentes.

PIÈGE
Comparer les amplitudes absolues (mV pour la flûte, V pour le synthétiseur) : elles renseignent sur le niveau sonore capté, pas sur le timbre. Ce sont les proportions entre harmoniques qui comptent.

À LA CALCULATRICE

