Spécialité : Produire des sons, écouter

Bac S 2004 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Exprimer la période T_0 du phénomène en fonction de la longueur L de la corde et de la vitesse v de propagation.

Pendant la durée T_0, l'onde fait un aller-retour : elle parcourt la distance $2L$ à la vitesse v.

$$T_0 = \frac{2L}{v}$$

PIÈGE
Écrire $T_0 = L/v$: l'onde ne redevient identique à elle-même qu'après les deux réflexions, donc après un aller et un retour.

1.2 Donner la relation entre la période T de l'onde sinusoïdale, sa longueur d'onde λ et la vitesse v.

L'onde avance d'une longueur d'onde λ pendant une période T, à la vitesse v.

$$\lambda = v\,T, \text{ soit } T = \frac{\lambda}{v}$$

1.3 Comment nomme-t-on une onde sinusoïdale qui vérifie $T_0 = n \times T$ sur la corde tendue ?

L'onde incidente et les ondes réfléchies se superposent en restant accordées : la corde vibre sur place, sans propagation apparente.

C'est une **onde stationnaire**.

COMPRENDRE
L'entier n est le numéro du mode de vibration : $n = 1$ pour le fondamental, $n = 2, 3, \ldots$ pour les modes harmoniques.

1.4 Déduire des questions précédentes l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de la longueur L de la corde.

On remplace T_0 (1.1) et T (1.2) dans $T_0 = n \times T$:

$$\frac{2L}{v} = n \times \frac{\lambda}{v}$$

La vitesse v se simplifie.

$$\lambda = \frac{2L}{n}$$

COMPRENDRE
Écrite $L = n\,\frac{\lambda}{2}$, la relation dit que la corde contient un nombre entier de demi-longueurs d'onde, c'est-à-dire n fuseaux.

1.5 Avec $\lambda = \frac{v}{f_n}$, établir une relation entre la fréquence f_n du son émis, la vitesse v et la longueur L.

On égale les deux expressions de la longueur d'onde : $\frac{v}{f_n} = \frac{2L}{n}$.

$$f_n = \frac{n\,v}{2L}$$

COMPRENDRE
Les fréquences possibles sont les multiples entiers de $f_1 = \frac{v}{2L}$. Une corde plus courte donne une fréquence plus élevée : c'est ce qu'exploite la partie 3.

2.1 Quelle(s) condition(s) doit remplir un instrument de musique pour produire un son ?

L'instrument doit assurer deux fonctions :

- **vibrer** : un élément est mis en vibration (ici la corde pincée) ;
- **émettre** : cette vibration est transmise à l'air environnant (ici par la caisse de la guitare).

Deux fonctions : vibrer et émettre.

COMPRENDRE
Une corde seule déplace très peu d'air et s'entend à peine. La caisse, de grande surface, vibre avec elle et rayonne le son.

2.2 À partir de l'oscillogramme de la figure 1, déterminer la période T_1 et la fréquence f_1 du son émis par la corde.

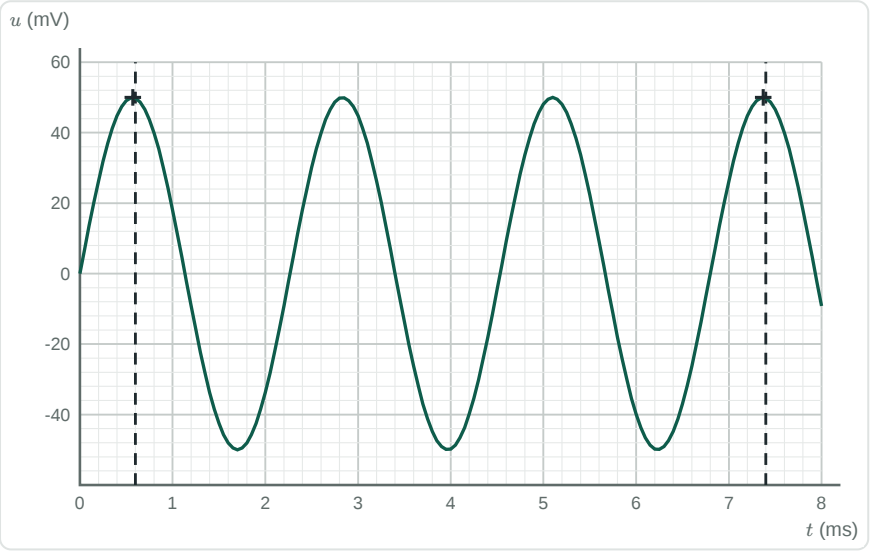
Données utiles figure 1 : maximums aux dates 0,6 ms et 7,4 ms, séparés par trois périodes

Entre le premier maximum ($t = 0{,}6$ ms) et le quatrième ($t = 7{,}4$ ms), on compte trois périodes :

$$T_1 = \frac{7{,}4 - 0{,}6}{3} = 2{,}3 \text{ ms} = 2{,}3 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{3}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$T_1 = 2{,}3$ ms et $f_1 = 4{,}4 \times 10^2$ Hz



2.2 · Figure 1 du sujet : trois périodes entre deux maximums

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs : les dates lues sur le graphique n'en ont que deux, comme $L_1 = 68$ cm. La fréquence est proche de 440 Hz, celle du la du diapason.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur trois périodes. Garder la valeur non arrondie de T_1 en mémoire pour calculer f_1.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\frac{7.4 - 0.6}{3}$ ≈ 2.266667
$\frac{3}{6.8 \times 10^{-3}}$ ≈ 441.1765

2.3 Déterminer la vitesse de propagation de l'onde le long de la corde à partir de la relation de la question 1.5 et de f_1.

Données utiles $L_1 = 68$ cm ; f_1 (2.2)

Le filtre isole la fréquence fondamentale : f_1 correspond à $n = 1$ et $L = L_1$. La relation de 1.5 donne $f_1 = \frac{v}{2L_1}$, donc $v = 2\,L_1\,f_1$.

$$v = 2 \times 0{,}68 \times \frac{3}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 6{,}0 \times 10^{2} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v = 6{,}0 \times 10^2$ m · s^{-1}

PIÈGE
Laisser L_1 en centimètres. Autre confusion : v est la vitesse de l'onde le long de la corde, pas celle du son dans l'air (environ $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\frac{2 \times 0.68 \times 3}{6.8 \times 10^{-3}}$ ≈ 600

3.1 Déterminer, à partir de l'oscillogramme de la figure 2, la période T_2 et la fréquence f_2 du son émis par la corde raccourcie.

Données utiles figure 2 : maximums aux dates $0{,}2$ ms et $7{,}0$ ms, séparés par neuf périodes

Entre le maximum de date $0{,}2$ ms et celui de date $7{,}0$ ms, on compte neuf périodes :

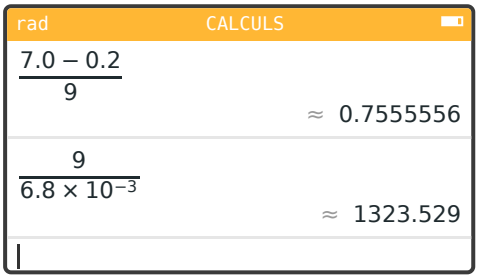
$$T_2 = \frac{7{,}0 - 0{,}2}{9} = 0{,}76 \text{ ms} = 7{,}6 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{9}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 1{,}3 \times 10^{3} \text{ Hz}$$

$T_2 = 0{,}76$ ms et $f_2 = 1{,}3 \times 10^3$ Hz

COMPRENDRE
Sur la même durée de $6{,}8$ ms, on compte neuf périodes au lieu de trois : la fréquence a triplé, $f_2 = 3\,f_1$.

À LA CALCULATRICE



3.2 La vitesse v étant inchangée, déduire de la question 3.1 et de la relation de 1.5 la longueur libre L_2 de la corde.

Données utiles v (2.3) ; f_2 (3.1)

f_2 est la fréquence fondamentale ($n = 1$) de la corde de longueur L_2 : $f_2 = \frac{v}{2L_2}$, donc $L_2 = \frac{v}{2\,f_2}$.

Avec les valeurs non arrondies de v et f_2 :

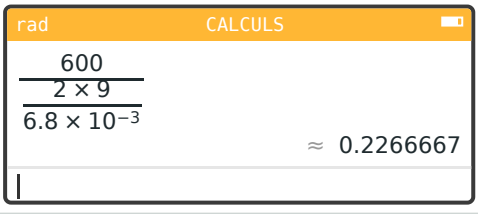
$$L_2 = \frac{600}{2 \times 1{,}3235 \times 10^{3}} = 0{,}23 \text{ m}$$

$L_2 = 0{,}23$ m, soit 23 cm

PIÈGE
Calculer avec les valeurs arrondies : $f_2 = 1{,}3 \times 10^3$ Hz donne aussi 0,23 m, mais $1/(0{,}76\text{ ms})$ associé à $1/(2{,}3\text{ ms})$ conduit à 0,22 m. Les arrondis intermédiaires changent le dernier chiffre.

COMPRENDRE
Comme $v = 2L_1 f_1$, on a $L_2 = L_1 \frac{f_1}{f_2} = \frac{L_1}{3}$: une fréquence triple correspond à une corde trois fois plus courte ($68/3 \approx 23$ cm).

À LA CALCULATRICE



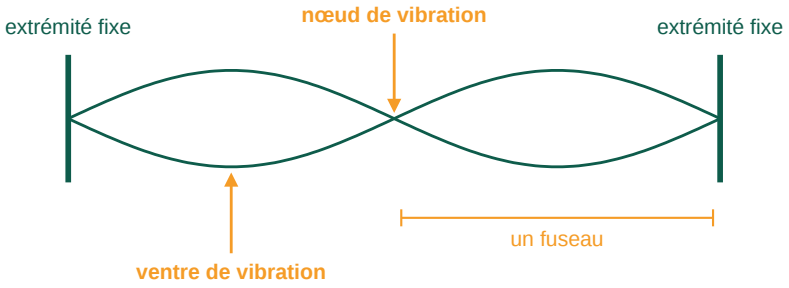
4.1 Légender le schéma de l'annexe 3, qui donne l'allure de la corde vibrant selon un mode harmonique.

La corde de l'annexe présente deux fuseaux : c'est le mode harmonique de rang 2.

- La flèche du haut désigne le point milieu, qui reste immobile : c'est un **nœud** de vibration.
- La flèche du bas désigne un point où l'amplitude est maximale : c'est un **ventre** de vibration.

Flèche du haut : nœud ; flèche du bas : ventre (voir l'annexe complétée).

COMPRENDRE
Les deux extrémités fixes sont aussi des nœuds. Deux nœuds voisins sont distants de $\lambda/2$, longueur d'un fuseau.



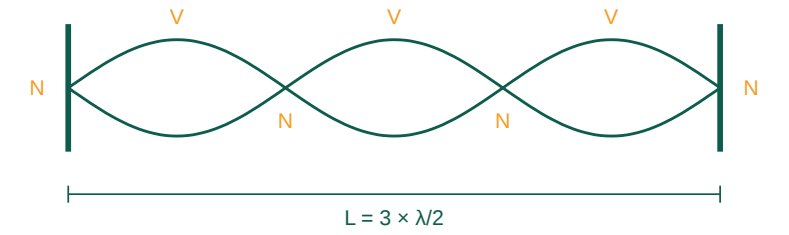
4.1 · Annexe 3 complétée : corde vibrant en deux fuseaux (mode harmonique de rang 2)

4.2 Donner sur un schéma l'allure de la corde pour le mode harmonique 3.

Pour $n = 3$, la relation de 1.4 donne $L = 3\,\dfrac{\lambda}{2}$: la corde contient trois demi-longueurs d'onde.

La corde vibre en **trois fuseaux** : quatre nœuds (dont les deux extrémités) et trois ventres (voir le schéma).

MÉTHODE
Mode de rang n : n fuseaux de même longueur L/n, n ventres et $n+1$ nœuds en comptant les extrémités.



4.2 · Mode harmonique de rang 3 : trois fuseaux, quatre nœuds (N), trois ventres (V)

5.1.1 Définir la hauteur d'un son.

La hauteur est la sensation qui fait dire qu'un son est grave ou aigu.

La hauteur d'un son est mesurée par la **fréquence de son fondamental** : plus elle est élevée, plus le son est aigu.

COMPRENDRE
Ancien programme : hauteur, timbre et harmoniques ne figurent plus dans la spécialité actuelle de Terminale. La lecture d'une période sur un enregistrement reste, elle, exigible.

5.1.2 Préciser la hauteur du son correspondant à la note de fréquence f_1' (figure 3).

Données utiles figure 3 : le motif se répète trois fois en 6,8 ms

Le signal n'est pas sinusoïdal mais il est périodique. Entre deux grands maximums séparés par trois motifs, on lit 6,8 ms :

$$T_1' = \frac{6{,}8}{3} = 2{,}3\ \text{ms} \qquad f_1' = \frac{1}{T_1'} = \frac{3}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^2\ \text{Hz}$$

Hauteur du son : $f_1' = 4{,}4 \times 10^2$ Hz

PIÈGE
Prendre l'écart entre un grand maximum et le petit maximum voisin : la période est la durée du motif complet, d'un grand maximum au grand maximum suivant.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{6.8}{3}$ ≈ 2.266667

$\frac{3}{6.8 \times 10^{-3}}$ ≈ 441.1765

5.2 Préciser de quoi dépend le timbre d'un son.

Le timbre distingue deux sons de même hauteur joués par des instruments différents.

Le timbre dépend des **harmoniques** présents dans le son (nombre et amplitudes relatives), ainsi que de la façon dont le son s'établit et s'éteint (attaque et extinction).

5.3 Comparer les hauteurs et les timbres des sons correspondant aux fréquences f_1 et f_1'.

Données utiles f_1 (2.2) ; f_1' (5.1.2)

Hauteur : $f_1 = f_1' = 4{,}4 \times 10^2$ Hz. Les deux sons ont la même hauteur, les instruments jouent la même note.

Timbre : le signal de la figure 3 n'est pas sinusoïdal, ce son contient des harmoniques. Celui de la figure 1 est sinusoïdal, mais le logiciel avait filtré le son de la guitare pour ne garder que le fondamental : on ignore la composition réelle de ce son.

Même hauteur. Les timbres sont très probablement différents (instruments différents), mais la figure 1, filtrée, ne permet pas de le vérifier.

PIÈGE
Conclure que la guitare émet un son pur parce que la figure 1 est une sinusoïde : cette forme vient du filtre, pas de l'instrument.