Spécialité : Au concert

Bac S 2010 Liban (ancien programme) · Exercice 4 **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 doit :

- **vibrer** : un excitateur (corde, colonne d'air, membrane, lame…) est mis en vibration ;
- **émettre** : cette vibration est transmise à l'air environnant, le plus souvent grâce à une caisse de résonance.

Deux fonctions : vibrer et émettre.

COMPRENDRE
Une corde seule déplace très peu d'air : sans la caisse de la guitare, qui assure le couplage avec l'air, le son serait presque inaudible.

1.2.1 Pourquoi dit-on que les ondes dont la corde de guitare est le siège sont stationnaires ?

Le long de la corde, on n'observe aucune propagation apparente de la déformation : certains points restent toujours immobiles (les nœuds), d'autres vibrent toujours avec l'amplitude maximale (les ventres), et ces points ne changent pas de position.

L'onde est dite stationnaire car la position des nœuds et des ventres est fixe : la vibration ne semble pas progresser le long de la corde.

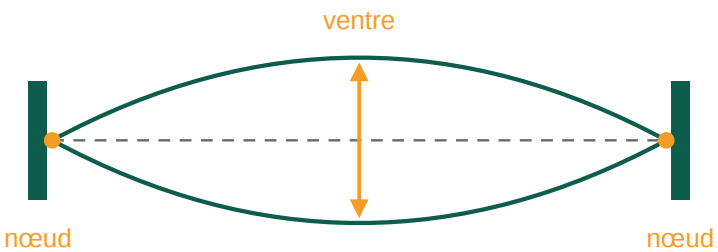
COMPRENDRE
L'onde stationnaire résulte de la superposition de deux ondes progressives de même fréquence, qui se propagent en sens opposés après réflexion aux extrémités fixes de la corde.

1.2.2 Proposer une représentation de la corde pour le mode fondamental en précisant les nœuds et les ventres.

La corde est fixée à ses deux extrémités : ce sont deux nœuds de vibration. Dans le mode fondamental, elle vibre en un seul fuseau, avec un unique ventre en son milieu (voir le schéma).

Mode fondamental : un fuseau, deux nœuds aux extrémités, un ventre au milieu.

PIÈGE
Dessiner deux fuseaux, avec un nœud au milieu de la corde : c'est le mode de rang 2, de fréquence double, et non le fondamental.



en pointillés : corde au repos

1.2.2 · Corde vibrant dans le mode fondamental : positions extrêmes de la corde

2.1.1 Attribuer chaque courbe (documents 1 et 2) à son instrument, diapason ou guitare, en justifiant.

- Document 1 : la tension est une fonction sinusoïdale du temps. C'est un son pur, celui du **diapason**.
- Document 2 : la tension est périodique mais non sinusoïdale. C'est un son complexe, celui de la **guitare**.

Document 1 : diapason (son pur) ; document 2 : guitare (son complexe).

2.1.2 Déterminer la fréquence fondamentale du son émis.

Données utiles document 1 : 4 périodes entre $t = 0$ et $t \approx 9{,}1$ ms

Pour gagner en précision, on mesure la durée de plusieurs périodes. Sur le document 1, la courbe coupe l'axe en montant à $t = 0$, puis une quatrième fois à $t \approx 9{,}1$ ms : $4T = 9{,}1$ ms.

$$f_1 = \frac{1}{T} = \frac{4}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^2 \text{ Hz}$$

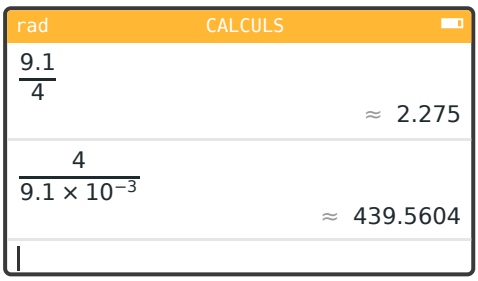
Le motif du document 2 se répète avec la même période : la guitare, accordée sur le diapason, a la même fréquence fondamentale.

$T \approx 2{,}3$ ms et $f_1 \approx 4{,}4 \times 10^2$ Hz, pour les deux sons.

PIÈGE
Laisser la période en millisecondes : $f = 1/T$ ne donne des hertz que si T est en secondes. Sur le document 2, ne pas confondre la période avec l'écart entre deux pics voisins.

COMPRENDRE
La lecture graphique de $4T$ donne deux chiffres significatifs : le résultat s'écrit $4{,}4 \times 10^2$ Hz. Il est compatible avec les 440 Hz du diapason des musiciens (la_3).

À LA CALCULATRICE



2.1.3 Quelle caractéristique du son est associée à la fréquence fondamentale d'un son ?

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

COMPRENDRE
Hauteur, timbre et harmoniques relèvent de l'ancien programme de spécialité : ces notions ne figurent plus dans le programme actuel de spécialité de terminale.

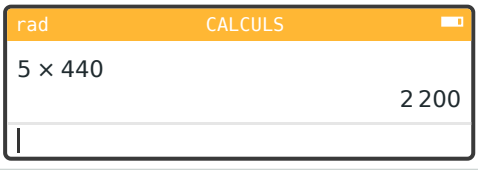
2.2.1 À quoi correspondent les différents pics du spectre du son de la guitare (document 3) ?

Chaque pic correspond à une composante sinusoïdale du son, appelée harmonique. Le premier pic, de fréquence $f_1 \approx 440$ Hz, est le fondamental (harmonique de rang 1). Les pics suivants, vers 880, 1320, 1760 et 2200 Hz, sont les harmoniques de rang 2 à 5 : leurs fréquences sont des multiples entiers de f_1.

Les pics sont le fondamental et les harmoniques, de fréquences $f_n = n \times f_1$ (n entier non nul).

PIÈGE
Croire que le fondamental est le pic le plus haut. C'est celui de plus basse fréquence : ici, l'harmonique de rang 2 a une amplitude plus grande que le fondamental.

À LA CALCULATRICE



2.2.2 Quelle caractéristique du son associe-t-on à la présence des pics et à leur amplitude relative ?

Le nombre d'harmoniques et leurs amplitudes relatives déterminent le **timbre** du son.

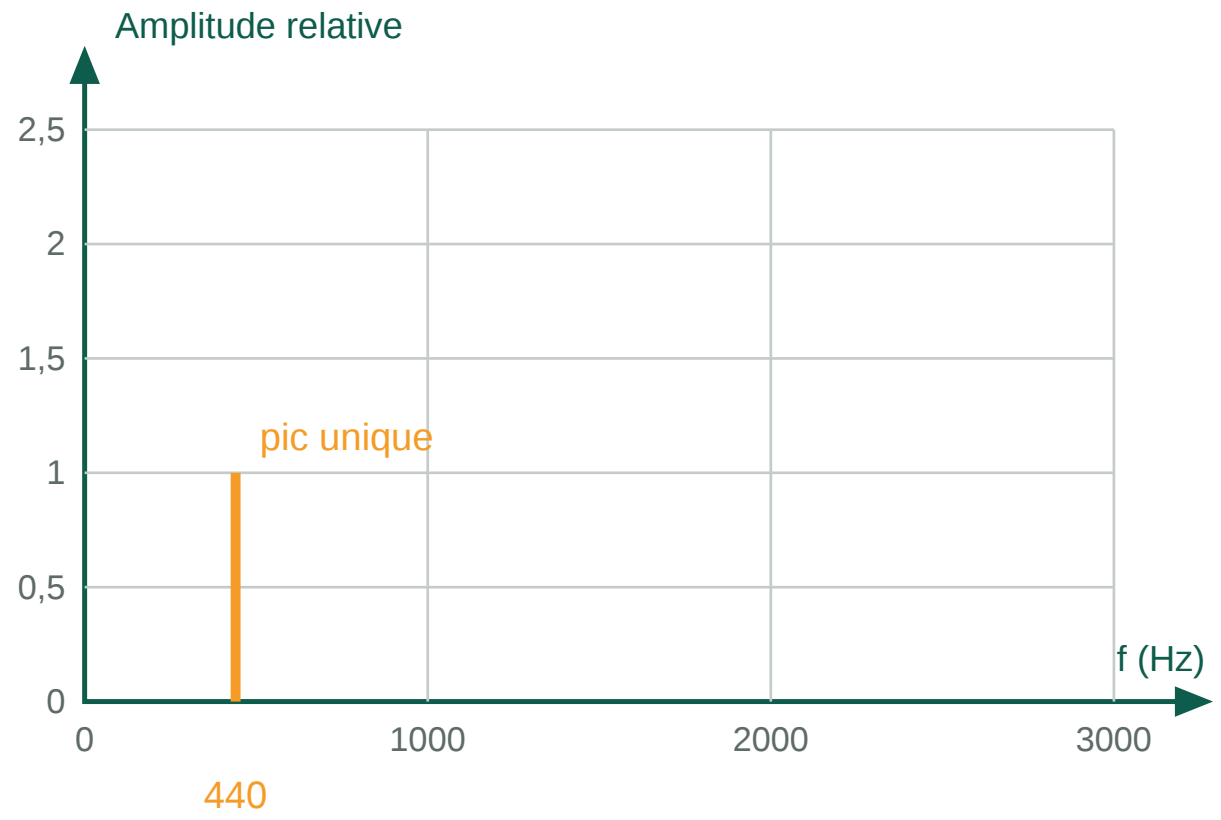
COMPRENDRE
Deux instruments jouant la même note ont le même fondamental, donc la même hauteur, mais des spectres différents : c'est le timbre qui permet de les distinguer à l'oreille.

2.2.3 Compléter, en justifiant, le spectre du diapason sur le document 4 de l'annexe.

Données utiles $f_1 \approx 4{,}4 \times 10^2$ Hz (2.1.2) ; amplitude de la tension du document 1 : 1 V

Le son du diapason est pur (tension sinusoïdale) : il ne contient qu'une seule composante, le fondamental. Son spectre se réduit donc à un seul pic, placé à la fréquence $f_1 \approx 440$ Hz. On lui donne l'amplitude relative 1, puisqu'aucun autre pic ne sert de comparaison.

Spectre du diapason : un pic unique à 440 Hz (voir le document 4 complété).



2.2.3 · Document 4 complété : spectre du diapason

3.1 Quelle note produit la cloche ?

Données utiles document 5 : premier pic vers 130 Hz ; Do 2 : 130,8 Hz

La note est donnée par la fréquence fondamentale, c'est-à-dire par le pic de plus basse fréquence du spectre. Sur le document 5, il se situe à $f_1 \approx 130$ Hz. Dans le tableau, la fréquence la plus proche est 130,8 Hz.

La cloche produit un Do 2.

3.2 La relation $f_n = n \times f_1$ entre fréquences harmoniques et fréquence fondamentale s'applique-t-elle à la cloche ? Justifier.

Données utiles document 5 : pics vers 130, 260, 300, 340, 520 et 600 Hz ; $f_1 \approx 130$ Hz (3.1)

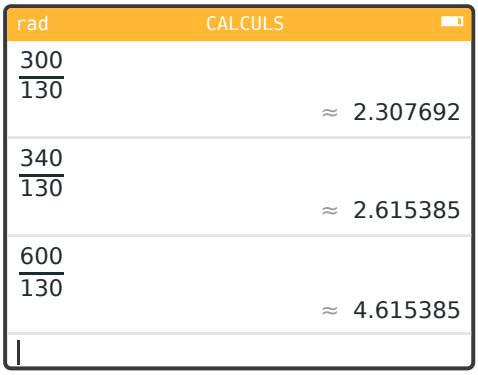
Les multiples de f_1 seraient 260, 390, 520 et 650 Hz. Les pics à 260 Hz ($2f_1$) et 520 Hz ($4f_1$) conviennent, mais :

- il n'y a aucun pic à 390 Hz ni à 650 Hz ;
- les pics à 300, 340 et 600 Hz ne sont pas des multiples entiers de 130 Hz ($300/130 \approx 2{,}3$; $340/130 \approx 2{,}6$; $600/130 \approx 4{,}6$).

Non : plusieurs fréquences du spectre de la cloche ne sont pas des multiples entiers de f_1.

MÉTHODE
Pour tester $f_n = n \times f_1$, diviser chaque fréquence lue par f_1 : il suffit d'un seul quotient non entier pour conclure que la relation ne s'applique pas.

À LA CALCULATRICE



3.3 Commenter l'allure du spectre de la fontaine : peut-on, notamment, y déterminer la fréquence fondamentale ?

Le spectre du document 6 ne présente pas de pics isolés : il est continu, toutes les fréquences comprises entre 300 Hz et 3000 Hz environ sont présentes, avec des amplitudes irrégulières. Aucune fréquence ne se détache comme fondamental suivi de ses harmoniques.

Spectre continu : on ne peut pas y déterminer de fréquence fondamentale.

COMPRENDRE
Sans fréquence fondamentale, le signal n'est pas périodique et on ne peut pas attribuer de hauteur, donc de note, au son de la fontaine.

3.4 Justifier que, pour un physicien, ces deux phénomènes sonores ne sont pas des sons musicaux mais des bruits.

Pour un physicien, un son musical est une vibration périodique : son spectre est formé d'un fondamental et d'harmoniques vérifiant $f_n = n \times f_1$.

- Cloche : le spectre est fait de pics, mais leurs fréquences ne vérifient pas toutes cette relation (3.2).
- Fontaine : le spectre est continu, sans fondamental ni harmoniques (3.3).

Aucun des deux spectres n'est celui d'un son périodique : ce sont des bruits.

4.1 Compléter le tableau du document 7 de l'annexe (intensité acoustique du son de la guitare).

Données utiles $L = 62$ dB ; $I_0 = 10^{-12}$ W · m^{-2}

$$I = I_0 \times 10^{L/10} = 10^{-12} \times 10^{62/10} = 1{,}6 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Les trois autres valeurs du tableau se retrouvent de la même façon (document 7 complété ci-dessous).

Guitare : $I = 1{,}6 \times 10^{-6}$ W · m^{-2}, soit 1,6 dans le tableau.

PIÈGE
Le tableau est exprimé en 10^{-6} W · m^{-2} : on y écrit 1,6 et non $1{,}6 \times 10^{-6}$. À la calculatrice, mettre l'exposant $62 \div 10$ entre parenthèses.

	guitare	percussion	flûte	chant
Niveau sonore (dB)	62	65	61	64
Intensité I (10^{-6} W·m^{-2})	**1,6**	3,2	1,3	2,5

4.1 · Document 7 complété

COMPRENDRE
Vérification rapide : 62 dB se situe entre 61 dB et 64 dB, donc l'intensité cherchée doit être comprise entre 1,3 et 2,5 (en $10^{-6}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}$).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{62}{10}} \approx 1.584893 \times 10^{-6}$

4.2 Choisir, en justifiant, la bonne réponse : le niveau sonore total L_{tot} vaut 63 dB, 65 dB, 69 dB ou 252 dB.

Données utiles intensités du document 7 (4.1) ; $I_0 = 10^{-12}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}$

Ce sont les intensités acoustiques qui s'additionnent, pas les niveaux sonores :

$$I_{tot} = (1{,}6 + 3{,}2 + 1{,}3 + 2{,}5) \times 10^{-6} = 8{,}6 \times 10^{-6}\ \mathrm{W\cdot m^{-2}}$$

$$L_{tot} = 10 \log \frac{I_{tot}}{I_0} = 10 \log \frac{8{,}6 \times 10^{-6}}{10^{-12}} = 69\ \mathrm{dB}$$

$L_{tot} = 69$ dB.

PIÈGE
Additionner les niveaux : $62 + 65 + 61 + 64 = 252$ dB, valeur absurde (bien au-delà du seuil de douleur). Les niveaux sonores ne s'ajoutent jamais.

MÉTHODE
Sans calcul : le niveau total dépasse forcément celui de la source la plus forte (65 dB), ce qui écarte 63 et 65 dB ; 252 dB est la somme interdite. Il ne reste que 69 dB.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$1.6 + 3.2 + 1.3 + 2.5 \approx 8.6$

$10 \times \log\left(\frac{8.6 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-12}}\right) \approx 69.34498$