Chapitre 3 – Ondes sonores

Corrigés des parcours en autonomie

Préparer l'évaluation — 14 — 16 — 17 — 23

14 Accorder une guitare

Exercice résolu.

16 Apprendre à rédiger

a. Le son 1 est émis par un diapason. C'est un son pur. Son spectre ne contient que le fondamental et prend donc la forme d'un diagramme ne présentant qu'un seul bâton. Le spectre du haut est donc celui du son 1.
La fréquence du fondamental du spectre du milieu est de 110 Hz. Il correspond au son émis par la corde 2 à vide accordée sur la note La. Ce spectre est donc celui du son 2.
En appuyant sur la corde 6, le musicien produit un son plus aigu donc de fréquence supérieure à celle de la note Mi « aigu » donc supérieure à 330 Hz. La fréquence du fondamental sur le dernier spectre correspond à cela puisqu'elle est égale à 440 Hz.
b. La fréquence du fondamental du son 1 et celle du son 3 sont égale : f = 440 Hz. Ces sons se distinguent par leur composition spectrale, le son 3 présentant des harmoniques contrairement au son 1 qui ne contient que le fondamental. Les sons 1 et 3 se distinguent donc par leur timbre.
La fréquence du fondamental du son 2 et celle du son 3 sont différente : f = 440 Hz pour le son 3 et f' = 110 Hz pour le son 2. Les sons 2 et 3 ont des hauteurs différentes.
Ces sons se distinguent également par leur timbre puisque les compositions spectrales sont différentes : l'amplitude relative des harmoniques n'est pas la même d'un spectre à l'autre. On peut citer l'harmonique de rang 3 dont l'amplitude relative est proche de 1 pour le son 2 et proche de 0 pour le son 3.
c. Les sons 2 et 3 ont des hauteurs différentes : le son 3, de fréquence plus faible, correspond à un La plus grave que le son 2.

17 Concert et niveau sonore

a. $L = 10\log\frac{I}{I_0}$ donc $\frac{L}{10} = \log\frac{I}{I_0}$ soit $10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0}$.

Ainsi :

$$I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}} = 10^{-12} \times 10^{\frac{70}{10}} = 1\times 10^{-5}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

De même :

$$I_2 = 4\times 10^{-5}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$$

Remarque : cette question est l'occasion d'attirer l'attention sur la régle concernant les chiffres significatifs. La présence du logarithme ou de la puissance de 10 entraîne une réflexion au cas par cas.

Exemple : un écart de 1 dB sur le niveau L_2 = 76 dB correspond à une imprécision de $\frac{1}{76}$ = 1,3 %, ce qui est raisonnable pour les deux chiffres significatifs donnés.
Pour la valeur L_2 = 75 dB, on obtiendrait $I_2 = 10^{-12} \times 10^{7,5} = 3,2\times10^{-5}$ W·m^{-2} ; l'écart relatif entre les deux valeurs de I_2 est de l'ordre de 25 %, ce qui justifie le choix de ne garder qu'un chiffre significatif aux valeurs de I ainsi calculées.

b. $L = 10\log\left(\frac{I_1 + I_2}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{5\times10^{-5}}{10^{-12}}\right) = 77$ dB.

c. En notant n le nombre de violons, L_1 = 70 dB étant le niveau sonore mesuré pour un seul violon et L_n = 90 dB étant celui correspondant à n violons :

$$L_n = 10\log\frac{nI_1}{I_0} \text{ donc } \frac{L_n}{10} = \log\frac{nI_1}{I_0} \text{ soit } 10^{\frac{L_n}{10}} = \frac{nI_1}{I_0}$$

Soit :

$$n = \frac{I_0 \times 10^{\frac{Ln}{10}}}{I_1} = \frac{10^{-12}\times10^{\frac{90}{10}}}{1\times10^{-5}} = 1\times10^2$$

En multipliant le nombre de violons par cent, on augmente le niveau sonore de 20 dB.

23 Décalage Doppler en fréquence

a. Si la voiture se rapproche de l'auto-stoppeur fixe :

$$v_R = 0 \text{ m·s}^{-1} \quad \text{et} \quad f_R = \frac{v}{v - v_E} f_E$$

A.N. : $v_E = 90 \text{ km·h}^{-1} = \frac{90,0\times10^3}{3600} = 25,0 \text{ m·s}^{-1}$

Alors : $f_R = \frac{340}{340 - 25,0} \times 400 = 432$ Hz mettre

b. Si la voiture se rapproche de l'autostoppeur :

$$f_R = \frac{v}{v + v_E} f_E = \frac{340}{340 + 25,0} \times 400 = 373 \text{ Hz}$$

c. La variation relative de la fréquence est au minimum de 13,5 %, ce qui est supérieur à l'écart de 6 % correspondant à un demi-ton entre deux notes. La différence est perceptible.

Approfondir — 25 — 26

25 Apprendre à chercher

Réponses aux questions intermédiaires de l'exercice

a. Les raies a et g sont à utiliser comme référence pour obtenir une échelle du spectre la plus précise possible.

b. On peut remplir le tableau ci-dessous :

Distance sur le papier	**Différence de longueur d'onde en réalité**
entre les raies de référence $d_0 = 48{,}5$ mm	entre les raies de référence $\Delta\lambda_0 = 112{,}7$ nm
correspondant au décalage Doppler subi par la raie K, matérialisé par la flèche $d = 36$ mm	correspondant au décalage Doppler de longueur d'onde recherché $\Delta\lambda = ?$

c.
Ainsi :

$$\Delta\lambda = \frac{d \times \Delta\lambda_0}{d_0} = \frac{36 \times 112{,}7}{48{,}5} = 84 \text{ nm}$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Leftrightarrow v = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{3{,}00 \times 10^{8} \times 84 \times 10^{-9}}{396{,}85 \times 10^{-9}} = 6{,}3 \times 10^{7}\,\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

26 Flûte traversière et synthétiseur

1. a. $3T_1 = 3{,}4$ ms soit :

$$T_1 = \frac{3{,}4}{3} = 1{,}13 \text{ ms} \quad \text{et} \quad f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{3}{3{,}4 \times 10^{-3}} = 8{,}82 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

L'axe des abscisses est gradué toutes les à 0,5 ms. L'incertitude-type sur la mesure de $3T_1$ peut être estimée à :

$$s = \frac{0{,}5}{\sqrt{12}} = 0{,}14 \text{ ms}$$

Ainsi, sans tenir compte de l'incertitude élargie :

$$\Delta T_1 = \frac{0{,}14}{3} = 0{,}047 \text{ ms, que l'on arrondie à } 0{,}05 \text{ ms}$$

Or : $\frac{\Delta T_1}{T_1} = \frac{\Delta f_1}{f_1}$ soit $\Delta f_1 = \frac{\Delta T_1}{T_1} f_1 = \frac{0{,}047}{1{,}13} \times 8{,}82 \times 10^{2} = 0{,}37 \times 10^{2}$ Hz, arrondie à $0{,}4 \times 10^{2}$ Hz.

Finalement, on peut écrire :

$$T_1 = 1{,}13 \pm 0{,}05 \text{ ms} \quad \text{et} \quad f_1 = (8{,}8 \pm 0{,}4) \times 10^{2} \text{ Hz}$$

b. Un encadrement de la valeur de la fréquence f_1 du fondamental est :

$$0{,}75 \text{ kHz} \leq f_1 \leq 1{,}0 \text{ kHz}$$

La valeur donnée en **1.a.** est comprise dans cet intervalle.
Valeurs approchées des harmoniques de rang 2 et 3 :

$$f_2 \approx 1{,}7 \text{ kHz et } f_3 \approx 2{,}5 \text{ kHz}$$

c. $f_2 = 2f_1 = 2 \times 8{,}8 \times 10^{2} = 1{,}8 \times 10^{3}$ Hz $\approx 1{,}7$ kHz.
De même, $f_3 = 3f_1 = 2 \times 8{,}8 \times 10^{2} = 2{,}6 \times 10^{3}$ Hz $\approx 2{,}5$ kHz.

2. a. Les signaux ont même fréquence (même période) ce que confirme la lecture des spectres : la fréquence du fondamental est la même sur les figures **(b)** et **(d)**. La hauteur du son est identique dans les deux cas.

b. Les formes des signaux sont différentes, ce que confirme la lecture des spectres : les compositions spectrales sont différentes. Par exemple, l'amplitude de l'harmonique de rang 3 est d'environ 0,4 sur le spectre **(b)** et de 0,1 sur le spectre **(d)**.
Les sons se distinguent par leur timbre.