ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

CORRECTION

soutienscolaire@monsieurtahar.com

PHYSIQUE

CHAPITRE 5

Tester ses connaissances

1 QCM

1. a et c
2. b
3. a et c
4. b

2 Comparer des signaux

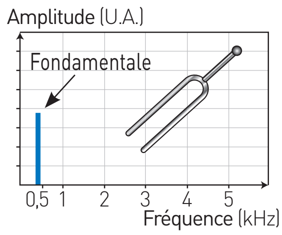
1. Un son pur est associé à un signal sinusoïdal : le diapason émet donc un son pur.
La clarinette et la chanteuse produisent des sons composés car leurs enregistrements donnent des signaux périodiques non sinusoïdaux.
2. Le son le plus grave est celui qui a la fréquence f la plus basse ; il correspond donc au signal de période T la plus grande ($f = 1/T$). La période T est la durée d'un motif du signal :
T(clarinette) = 2,0 ms ; T(chanteuse) = 4,1 ms et T(diapason) = 2,2 ms.
C'est donc la chanteuse qui émet le son le plus grave.

3 Phrases à construire

1. Un son est associé à un signal périodique dépendant du temps, dû à une vibration des couches d'air.
2. Tout signal périodique de fréquence f peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquences multiples de f.
3. Un son composé de fréquence f, appelée fondamentale, peut être décomposé en sons purs de fréquences multiples de f, les harmoniques.
4. L'intensité sonore est égale à la puissance sonore par unité de surface (en W.m^{-2}).
5. La fréquence fondamentale du signal sonore émis par une corde vibrante dépend, entre autres, de sa longueur : plus la corde est longue, plus le son produit est grave.

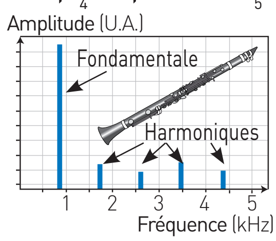
4 Comparer des spectres

1. Spectre d'un diapason : son pur – fondamentale : pic à 0,4 kHz.
Spectre d'une note jouée sur une clarinette : son composé – fondamentale : 1er pic à f_1 = 0,85 kHz – harmoniques : pics suivants à f_2 = 1,7 kHz, f_3 = 2,6 kHz, f_4 = 3,4 kHz et f_5 = 4,3 kHz.



SON PUR

▲ Spectre d'un diapason



SON COMPOSÉ

▲ Spectre d'une note jouée sur une clarinette

2. La fréquence d'un son est égale à la fréquence fondamentale (premier pic sur le spectre). L'instrument ayant joué le son le plus aigu correspond donc au spectre dans lequel le premier pic a la fréquence la plus élevée : il s'agit ici de la clarinette (f_1 = 0,85 kHz).
3. Les harmoniques ont des fréquences multiples de la fondamentale : $f_4 = 4 \times f_1$.

5 Le spectre d'une note

1. Trois sons purs composent ce spectre car il y a trois pics distincts.
2. La fréquence de la note jouée est égale à la fréquence fondamentale, c'est-à-dire celle du premier pic sur le spectre (fréquence la plus basse) : f = 494 Hz.
3. Les harmoniques ont des fréquences qui sont des multiples entiers de la fondamentale. Sur le spectre, les harmoniques de fréquences 2f (988 Hz) et 4f (1 976 Hz) sont présents. Par contre, les harmoniques de fréquences 3f (3 × 494 = 1482 Hz) et 5f (5 × 494 = 2 470 Hz) sont absents.

6 L'intensité d'un son

1. On cherche à calculer le niveau d'intensité sonore L_1 correspondant à une intensité sonore $I_1 = 2{,}0.10^{-4}$ W.m^{-2}.

Il faut utiliser la relation donnée : $L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}.

Calcul : $L_1 = 10 \times \log\left(\frac{2{,}0.10^{-4}}{1{,}0.10^{-12}}\right) = 10 \times \log 2{,}0.10^{8} = 83$ dB.

Le niveau d'intensité sonore près du tympan de l'oreille est égal à 83 dB.

2. On cherche à calculer l'intensité sonore I_2 correspondant à un niveau d'intensité sonore $L_2 = 100$ dB.

Il faut utiliser la relation donnée : $L_2 = 10 \times \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}.

Calcul : $\log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = \left(\frac{L_2}{10}\right) = 10$ dB donc $\frac{I_2}{I_0} = 10^{10}$ et $I_2 = I_0 \times 10^{10} = 1{,}0.10^{-12} \times 10^{10} = 1{,}0.10^{-2}$ W.m^{-2}.

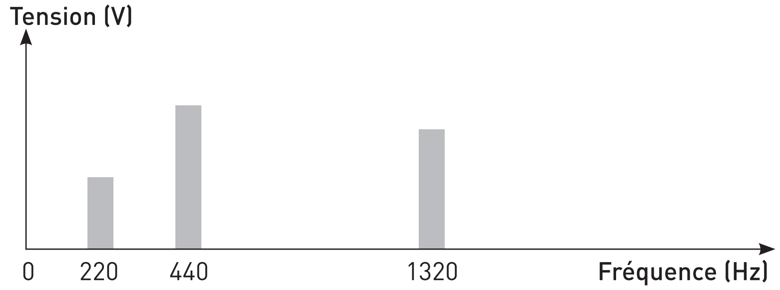
L'intensité sonore du cri d'un coq est égale à $1{,}0.10^{-2}$ W.m^{-2}.

7 Jouer du violoncelle

1. Pour produire un son plus grave, le violoncelliste doit augmenter la longueur de la corde vibrante (partie frottée par l'archet). Pour cela, il doit déplacer sa main gauche vers le haut du manche de son instrument.
2. La fréquence du son émis par une corde vibrante dépend, entre autres, de sa masse linéique (ou masse par unité de longueur). Avec des cordes de même longueur mais de diamètre variable, le violoncelliste peut ainsi produire des notes différentes et accroître l'étendue des notes possibles.
3. En resserrant la clé d'accordage située près de son visage, le violoncelliste augmente la tension de la corde et modifie ainsi la fréquence du son émis (celui-ci devient plus aigu).

8 Synthétiser des sons avec un smartphone

1. Les trois sons produits par le logiciel sont purs car ce sont des signaux sinusoïdaux.
2. Ces trois sons ne sont pas de même hauteur car leurs fréquences sont différentes : 220 Hz, 440 Hz et 1 320 Hz.
3. Ces trois sons ne sont pas de même intensité car le curseur de réglage de l'intensité est à un niveau différent pour chaque son. Si 1 est la valeur maximale : 0,5 ; 1 ; 0,8.
4. La fréquence du son composé est égale à sa fréquence fondamentale, c'est-à-dire celle du signal sinusoïdal de fréquence la plus basse : $f = 220$ Hz.
5. Le son obtenu contient des harmoniques de fréquences $2f$ (440 Hz) et $6f$ (1 320 Hz) : ce sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale.
6. Le son mixé est composé de trois sons purs donc le spectre présente trois pics aux fréquences : 220 Hz, 440 Hz et 1 320 Hz. L'amplitude relative des pics dépend de la position du curseur de réglage de l'intensité sonore (0,5 ; 1 ; 0,8).



9 Une législation pour les niveaux sonores

1. Lorsque les dix percussionnistes jouent en même temps, l'intensité sonore en W.m^{-2} est multipliée par dix.
Attention : le niveau sonore en dB n'est pas multiplié par dix car il est défini sur une échelle logarithmique non linéaire.
Calculons l'intensité sonore I pour un percussionniste jouant seul, sachant qu'il est exposé à un niveau sonore $L = 98$ dB. Il faut utiliser la relation : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2}.

Calcul : $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \left(\frac{L}{10}\right) = 9{,}8$ dB donc $\frac{I}{I_0} = 10^{9,8}$ et $I = I_0 \times 10^{9,8} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{9,8} = 6{,}3 \times 10^{-3}$ W.m^{-2}.

L'intensité sonore reçue par un percussionniste jouant seul est égale à $6{,}3 \times 10^{-3}$ W.m^{-2}.

Lorsque les dix percussionnistes jouent en même temps, si l'on néglige l'atténuation du son liée à la distance entre les musiciens, un percussionniste reçoit une intensité sonore :
$I_{totale} = 10 \times I = 6{,}3 \times 10^{-2}$ W.m^{-2}.
Le niveau sonore correspondant se calcule grâce à la relation :
$L_{total} = 10 \times \log\left(\frac{I_{total}}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2}.

Calcul : $L_{total} = 10 \times \log\left(\frac{6{,}3 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right) = 10 \times \log 6{,}3 \times 10^{10} = 108$ dB.

Le niveau sonore auquel un percussionniste est exposé lorsque les dix percussionnistes jouent en même temps est égal à 108 dB.
Remarque : multiplier l'intensité sonore par 10 revient donc à augmenter le niveau sonore de 10 dB.

2. La législation européenne impose une limite de 102 dB dans les concerts. Le niveau sonore perçu par un percussionniste étant de 108 dB, on peut lui conseiller de porter des bouchons d'oreille pour préserver ses capacités auditives.

10 Le son du violon

À la demande de son professeur, un jeune violoniste joue un Sol3. Comment vérifier si la note jouée est juste ?
On sait que la fréquence d'un Sol3 est de 392 Hz.
En analysant le signal temporel correspondant au son enregistré par le professeur, on peut déterminer sa fréquence et vérifier ainsi la justesse de la note.
Sur ce signal, quatre périodes mesurent 9,2 ms donc une période a pour valeur : $T = \frac{9{,}2 \text{ ms}}{4} = 2{,}3$ ms.
On en déduit la fréquence du signal : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2{,}3 \times 10^{-3}} = 4{,}3 \times 10^2$ Hz (ou 435 Hz avec 3 chiffres significatifs).
La fréquence de la note jouée est trop élevée, elle est plus proche de celle d'un La3 (440 Hz) que de celle d'un Sol3 (392 Hz). La note jouée par le jeune violoniste n'est pas juste, elle est trop aiguë.
Une analyse spectrale permettrait de confirmer ce résultat. Elle consiste à décomposer le son du violon en une somme de sons purs (tout signal périodique peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux). Sur le spectre, le premier pic (de fréquence la plus basse) apparaît à la fréquence dite fondamentale, qui est aussi égale à celle de la note jouée.
Enfin, pour ajuster sa note qui est trop aiguë, on peut conseiller au violoniste d'augmenter la longueur de la corde vibrante en appuyant sur celle-ci plus haut sur le manche du violon (vers sa tête).
Si son violon est désaccordé, il peut aussi modifier la tension mécanique de la corde, en desserrant la clé d'accordement, afin d'obtenir un son plus grave.

11 Une histoire de distance

1. À $d_1 = 1$ m de distance, le niveau sonore reçu par Adrien est $L_1 = 70$ dB.
Calculons l'intensité sonore I_1 à cette distance grâce à la relation :

$L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ avec $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2}.

Calcul : $\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = \left(\frac{L_1}{10}\right) = 7{,}0$ dB donc $\frac{I_1}{I_0} = 10^{7,0}$ et $I_1 = I_0 \times 10^{7,0} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{7,0} = 1{,}0 \times 10^{-5}$ W.m^{-2}.

L'intensité sonore reçue par Adrien à cette distance est égale à $1{,}0.10^{-5}$ W.m^{-2}.

2. Si Adrien se place à $d_2 = 2$ m d'Emma, la distance est doublée. Or l'intensité sonore varie comme l'inverse du carré de la distance. Donc l'intensité sonore est divisée par 4 :
$I_2 = I_1/4 = 1{,}0 \times 10^{-5} / 4 = 2{,}5 \times 10^{-6}$ W.m^{-2}.
L'intensité sonore reçue par Adrien à cette distance est égale à $2{,}5 \times 10^{-6}$ W.m^{-2}.

3. Pour que son sonomètre indique un niveau sonore $L_3 = 50$ dB, il faut qu'Adrien se place à une distance d_3 d'Emma. Calculons l'intensité sonore I_3 à cette distance :

$\log\left(\frac{I_3}{I_0}\right) = \left(\frac{L_3}{10}\right) = 5{,}0$ dB donc $\frac{I_3}{I_0} = 10^{5,0}$ et $I_3 = I_0 \times 10^{5,0} = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{5,0} = 1{,}0 \times 10^{-7}$ W.m^{-2}.

L'intensité sonore reçue par Adrien doit donc être divisée par 100 par rapport à la situation initiale ($I_3 = I_1/10^2$). Comme l'intensité sonore varie comme l'inverse du carré de la distance, la distance doit donc être multipliée par 10 : $d_3 = d_1 \times 10 = 1 \times 10 = 10$ m.
En conclusion, Adrien doit se placer à 10 m d'Emma pour que son sonomètre indique 50 dB.

4. Plus le tuyau de la flûte de Pan est court, plus le son émis est aigu. La valeur indiquée par le fréquencemètre va donc augmenter. Par contre, comme Emma souffle en conservant la même puissance sonore, la valeur indiquée par le sonomètre ne varie pas (70 dB à 1 m de distance).