# Partie Observer : Ondes et matière

## CHAP 02-CORRIGE EXOS Caractéristiques des ondes

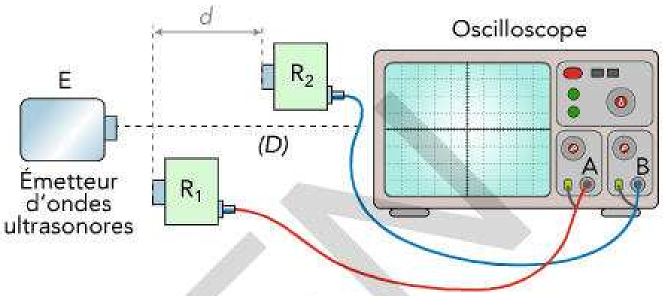
**Exercices résolus p 48-49**
**Exercices p 54 – 55 N° 26 (niveau 1)-27 et 29**
**Exercices p 59 N° 34**

### 26 À chacun son rythme (AP)

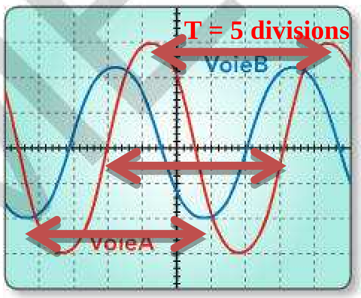
COMPÉTENCES **Exploiter un graphique ; estimer une incertitude.**

**Cet exercice est proposé à deux niveaux de difficulté. Dans un premier temps, essayer de résoudre l'exercice de niveau 2. En cas de difficultés, passer au niveau 1.**

On souhaite connaître la vitesse d'une onde ultrasonore. On réalise le montage ci-dessous :




Lors d'une mesure, on obtient l'oscillogramme suivant :




La base de temps est fixée à 5,0 µs/division ; les sensibilités verticales sont identiques.
Lorsque les récepteurs sont à égale distance de l'émetteur, les signaux sont en phase.

Le récepteur $R_1$ restant fixe, on éloigne le récepteur $R_2$ le long de l'axe (*D*) en comptant le nombre de fois où les signaux se retrouvent en phase. Pour une distance *d* égale à (8,5 ± 0,1) cm, les signaux ont été dix fois en phase.

On considère que l'incertitude $U(T)$ dans la mesure de la période est de 0,2 division.

L'incertitude sur la vitesse *v* est donnée par :

$$U(v) = v \cdot \sqrt{\left(\frac{U(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{U(T)}{T}\right)^2}$$

**Niveau 2** (énoncé compact)

Calculer la valeur de la vitesse *v* de l'onde ultrasonore et son incertitude $U(v)$.

**Niveau 1** (énoncé détaillé)

**1. a.** Calculer la période *T* des ondes ultrasonores à partir de l'oscillogramme.
**b.** Calculer l'incertitude $U(T)$ sur la période.

**2. a.** Déterminer la longueur d'onde $\lambda$ connaissant *d*.
**b.** Quelle est l'incertitude $U(\lambda)$ sur la longueur d'onde ?

**3. a.** Quelle est la relation entre la longueur d'onde $\lambda$ et la période *T* de l'onde ?
**b.** Calculer la valeur de la vitesse *v* de l'onde ultrasonore et son incertitude $U(v)$.

Niveau 1 :

**1) a) Calcul de T :**

T = 5 div 5* $5.10^{-6}$ = $25.10^{-6}$ s = **25 µs**

**b) Calcul de l'incertitude U(T)**

U(T) = 0,2 divisions (cf énonce) = 0,2*5 = **1 µs**

**2) a) Calcul de λ :**

On a :

$\lambda = \frac{d}{10} = \frac{8,5}{10}$ = **0,85 cm**

**b) Incertitude sur λ :**

$U(\lambda) = \frac{U(d)}{10} = \frac{0,1}{10}$ = 0,01 cm

**3) a) Relation :**

cf cours

$$\boxed{v = \frac{\lambda}{T}}$$

T : *la période (s)*
*v : vitesse (m.s$^{-1}$)*
*λ : Longueur d'onde en (m)*

$$\boxed{\lambda = v.T}$$

**b) Calcul de la vitesse**

$v = \frac{\lambda}{T}$

$v = \frac{0,85.10^{-2}}{25.10^{-6}}$ = **340 m.s$^{-1}$**

**Calcul de U(v) :**

$U(v) = v.\sqrt{(\frac{U(\lambda)}{\lambda})^2 + (\frac{U(T)}{T})^2} = 340.\sqrt{(\frac{0,01\,.10^{-2}}{0,85.10^{-2}})^2 + (\frac{1.10^{-6}}{25.10^{-6}})^2}$ = **10 m.s$^{-1}$**

## 27 Mesure d'une vitesse d'écoulement

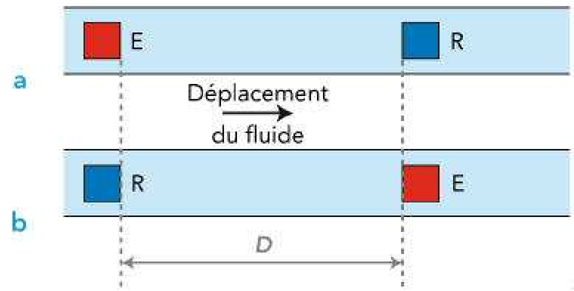
COMPÉTENCES **Calculer ; raisonner.**

Il est possible de mesurer la vitesse d'écoulement d'un fluide (liquide ou gaz) dans une canalisation en utilisant des ondes ultrasonores.

La vitesse de propagation de l'onde ultrasonore $\vec{v}$ dans un fluide en mouvement s'exprime en fonction de la vitesse du fluide $\vec{v_f}$ et de la vitesse de l'onde $\vec{v_0}$ dans ce même fluide lorsqu'il est à l'équilibre par :

$$\vec{v} = \vec{v_f} + \vec{v_0}$$

Un émetteur ultrasonore émet des ondes qui sont reçues au bout d'une durée $\Delta t$ par un récepteur situé à une distance $D$ de l'émetteur. L'émetteur E est soit en amont du récepteur R (a), soit en aval (b).




Lorsque l'émetteur est en amont, la durée de propagation est $\Delta t_1$ ; s'il est en aval, cette durée est $\Delta t_2$.

**1.** Exprimer la valeur de la vitesse $v$ de l'onde ultrasonore en fonction de $v_0$ et de $v_f$ dans les deux cas.

**2.** Exprimer $\Delta t_1$ et $\Delta t_2$ en fonction de $v_0$, $v_f$ et $D$. Quelle est la plus petite durée ?

**3.** Montrer que l'écart entre ces durées $\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1$ est :

$$\Delta t = \frac{2 \cdot D \cdot v_f}{v_0^2 - v_f^2}$$

**4.** Au cours d'une expérience dans l'eau, pour $D = 1,98$ m, on mesure $\Delta t = 2,32$ µs. Quelle est la valeur de $v_f$ si $v_0 = 1\,480$ m·s$^{-1}$ ?

**5.** Quelles peuvent être les sources d'incertitudes dans cette méthode de mesure de la vitesse du fluide ?

**1) Vitesse $v_1$ quand E en amont :**

$v_1 = v_0 + v_f$

**Vitesse $v_2$ quand E en aval :**

$v_2 = v_0 - v_f$

**2) Expression de $\Delta t_1$ :**

« $v = \frac{d}{t}$ »

$v_1 = \frac{D}{\Delta t_1}$

$v_0 + v_f = \frac{D}{\Delta t_1}$

$\Delta t_1 = \frac{D}{v_0 + v_f}$

**Expression de $\Delta t_2$ :**

$v_0 - v_f = \frac{D}{\Delta t_2}$

$\Delta t_2 = \frac{D}{v_0 - v_f}$

**$\Delta t_1$ est plus petit car le dénominateur est plus grand que ds $\Delta t_2$**

## 3) Expression de l'écart

$\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 = \frac{D}{v_0 - v_f} - \frac{D}{v_0 + v_f} = \frac{D.(v_0 + v_f) - D.(v_0 - v_f)}{(v_0 - v_f).(v_0 + v_f)} = \frac{D.v_0 + D.v_f - D.v_0 + D.v_f}{{v_0}^2 - {v_f}^2} = \frac{2.D.v_f}{{v_0}^2 - {v_f}^2}$

**CQFD**

## 4) Calcul de $v_f$

$\Delta t = \frac{2.D.v_f}{{v_0}^2 - {v_f}^2}$

$\Delta t.({v_0}^2 - {v_f}^2) = 2.D.v_f$

$\Delta t.{v_0}^2 - \Delta t.{v_f}^2 = 2.D.v_f$

$-\Delta t.{v_f}^2 - 2.D.v_f + \Delta t.{v_0}^2 = 0$

$\Delta t.{v_f}^2 + 2.D.v_f - \Delta t.{v_0}^2 = 0$

**A.N.**

$2,32.10^{-6}.{v_f}^2 + 2.1,98.v_f - 2,32.10^{-6}.1480^2 = 0$

$2,32.10^{-6}.{v_f}^2 + 3,96.v_f - 5,08 = 0$

~~$v_f$ = -1706897 m.s$^{-1}$~~

**$v_f$ = 1.28 m.s$^{-1}$**

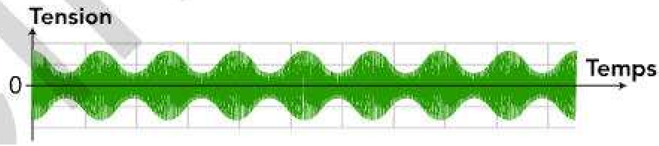
**5)** Il faut connaître la valeur de la distance D, entre l'émetteur et le récepteur, le plus précisément possible. La mesure des deux durées est aussi source d'erreur, tout comme la valeur de $v_0$.

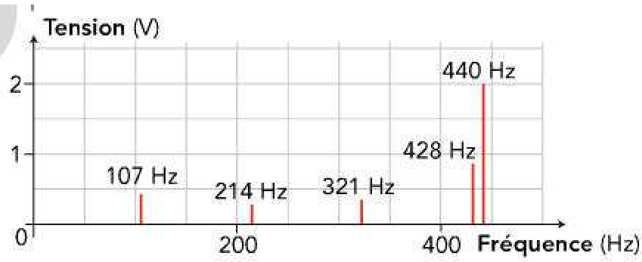
## 29 Accorder une guitare avec un diapason

COMPÉTENCES **Exploiter un graphique ; raisonner.**

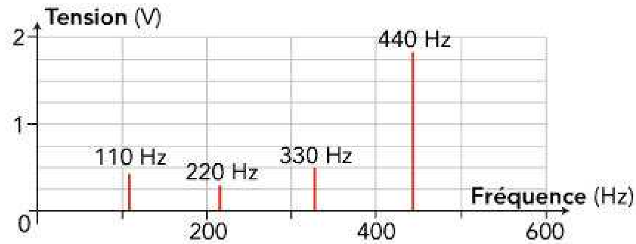
*Lorsque deux notes ont des fréquences proches, leur mélange produit un son dont l'intensité varie au cours du temps.* Ce phénomène, appelé battement, peut être utilisé pour accorder la 5ᵉ corde d'une guitare à l'aide d'un diapason. Cette corde émet normalement un la dont la fréquence du fondamental est de 110 Hz.
Un diapason émet un son pur, c'est-à-dire un son dont le spectre en fréquences n'est composé que d'un fondamental.

Lya souhaite vérifier la rigueur de cette méthode. Elle enregistre les sons émis simultanément par sa guitare et un diapason et obtient l'oscillogramme ci-dessous à partir duquel elle trace le spectre correspondant :




1. Repérer sur le spectre les fréquences du fondamental et des harmoniques de la note émise par la guitare.
2. Repérer de même la fréquence de la note émise par le diapason.
3. À l'aide de l'oscillogramme, expliquer la phrase en italique.
4. La corde est-elle accordée ?
5. Après avoir modifié la tension de la corde, Lya réalise une nouvelle acquisition et obtient le spectre suivant :




Quelles sont les fréquences du fondamental et des harmoniques de la note émise par la guitare ?

6. La corde est-elle accordée ?

**1)** Pour la note émise par la guitare, le fondamental a une fréquence de 107 Hz et les autres harmoniques ont pour fréquences 214 Hz, 321 Hz et 428 Hz.

**2)** Le son du diapason a une fréquence de 440 Hz.

**3)** L'amplitude de la tension enregistrée n'est pas constante, on observe des variations à l'origine des battements que l'on peut entendre.

**4)** La fréquence du fondamental de la note émise par la guitare est de 107 Hz alors qu'elle devrait être de 110 Hz. La corde n'est pas accordée.

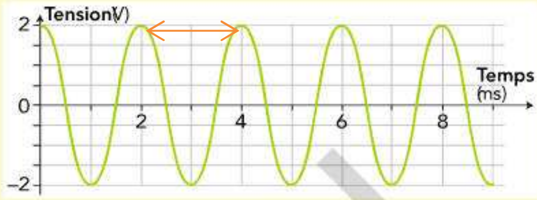
**5)** La fréquence du fondamental est de 110 Hz, les autres harmoniques ont pour fréquences 220 Hz, 330 Hz et 440 Hz. L'harmonique à 440 Hz se superpose avec le signal du diapason

**6)** La fréquence du fondamental de la note émise par la guitare est de 110 Hz alors qu'elle devrait être de 110 Hz. La corde est accordée.

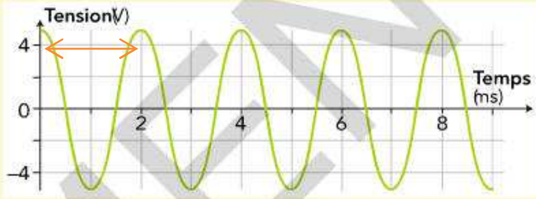
## 34 Bac L'oreille humaine en concert

COMPÉTENCES Exploiter un graphique, argumenter.

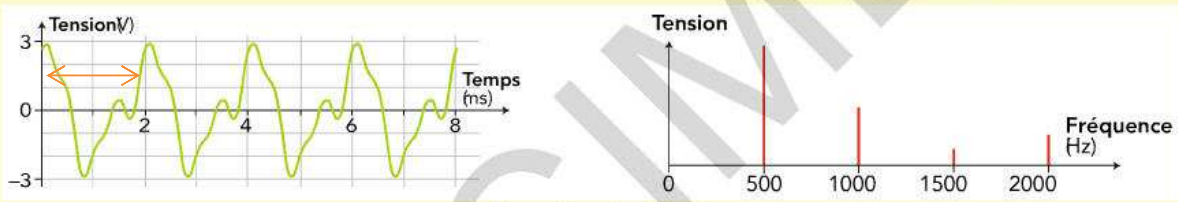
Un ingénieur du son a un rôle primordial pour la sonorisation des salles, en particulier lors d'un concert de musique. À l'aide d'une table de mixage, il règle les sons qui arrivent depuis les microphones des musiciens et les renvoie vers les enceintes de façade et de retour. L'ingénieur intervient sur quatre qualités des sons : la hauteur, l'intensité, le timbre et la durée. Grâce à sa table de mixage, il convertit facilement un son en un autre. Il peut notamment modifier un son correspondant à l'enregistrement 1 en un son correspondant à l'enregistrement 2. Les différentes représentations d'un son lui permettent de reconnaître ses caractéristiques (voir enregistrement 3).




Enregistrement 1




Enregistrement 2




Enregistrement 3

Pour régler le niveau sonore de la salle de concert, l'ingénieur connait certaines règles. Par exemple, s'il fait ses réglages pour avoir un son de 98 dB pour des spectateurs situés à 16 m d'une enceinte, il sait que l'intensité sonore sera quatre fois plus grande pour les spectateurs situés à 8 m de l'enceinte. Il sait aussi que l'intensité sonore est doublée s'il place à côté de deux enceintes identiques. Pour ces réglages l'ingénieur doit tenir compte des seuils de risque, de danger et de douleur. En effet l'exposition à un niveau sonore trop élevé peut provoquer des acouphènes. L'acouphène est un bourdonnement ou sifflement parasite qu'une personne entend sans que ce bruit existe réellement.


Effets du niveau d'intensité sonore L sur l'oreille humaine.



**1.** Donner la définition de la hauteur d'un son.

**2.** Déterminer la hauteur du son correspondant à l'enregistrement 1.

**3.** Quelle modification a effectué l'ingénieur pour obtenir l'enregistrement 2 ? Quel paramètre du son a varié entre ces deux enregistrements ? Justifier votre réponse.

**4.** En utilisant l'analyse spectrale, montrer que la hauteur du son émis lors de l'enregistrement 3 est identique à celle des enregistrements 1 et 2.

**5.** Quelle différence présente le son de l'enregistrement 3 par rapport aux enregistrements 1 et 2 ? Quel paramètre du son est ainsi mis en évidence ?

**6.** Montrer que l'intensité $I_1$ du son à 16 mètres de l'enceinte vaut $I_1 = 6{,}3 \times 10^{-3}$ W·m$^{-2}$.

**7.** Si l'ingénieur place dix enceintes identiques côte à côte sur la scène, quel est le niveau d'intensité sonore $L_2$ à 16 m ?

**8.** Montrer que le niveau d'intensité sonore augmente de 6 dB chaque fois que l'on divise la distance par deux. À partir de quelle distance des enceintes le son est-il douloureux à écouter ?

**9.** Quels sont les risques auditifs encourus par les spectateurs qui se placent très près des enceintes ?

*Donnée :* $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W·m$^{-2}$.

1) **La hauteur du son est la sensation liée à la fréquence du fondamental de ce son.**

**<u>2) Calcul de f :</u>**

T = 2,0 ms, donc f = $\frac{1}{T} = \frac{1}{2.10^{-3}} = 500$ Hz.

**3)** L'amplitude de la tension a doublé. L'ingénieur a modifié l'intensité sonore du son. Le son a toujours la même période, donc la même fréquence.

**4)** Le fondamental sur l'enregistrement 3 a une fréquence de 500 Hz, donc la même fréquence que les sons des enregistrements 1 et 2.

**5)** C'est le timbre du son qui a été modifié. En effet, il s'agit, sur l'enregistrement 3, d'un son ayant beaucoup d'harmoniques, alors que les signaux des enregistrements 1 et 2 sont des sinusoïdes, donc des sons purs avec un seul harmonique.

**6) Calcul de $I_1$ :**

$I_1 = I_0.10^{\frac{L}{10}}$

$I_1 = 1.10^{-12}.10^{\frac{98}{10}} = 6{,}3.10^{-3}\ W.m^{-2}$.

**7) Calcul de L :**

$L = 10.log(\frac{I}{I_0}) = 10.log(\frac{10.6{,}3.10^{-3}}{1.10^{-12}}) = 108\ dB$

**8) Pour une distance de 16 m**

$L = 10.log(\frac{I}{I_0})$

**À 8 mètres,I' = 4.I (cf texte)**

$L' = 10.log(\frac{I'}{I_0}) = 10.log(\frac{4.I}{I_0})$

**(Log(A.B) = log(A) + log(B))**

$L' = 10.log4 + 10.\ log(\frac{I}{I_0})$

$L' = 6 + 10.\ log(\frac{I}{I_0})$

$L' = 6 + L$

**Calcul de la distance de douleur**

**Le son devient douloureux à écouter à partir de 120 dB**

**16 m : 98 dB**
**8 m : 104 dB**
**4 m : 110 dB**
**2 m : 116 dB**
**1 m : 122 dB**

**9) Près des enceintes, le niveau sonore peut dépasser le seuil de risques. Cette exposition à un niveau sonore trop élevé peut provoquer des acouphènes, voire engendrer une perte d'audition.**