EXERCICE. ETUDES DES SONS PRODUITS PAR DIFFERENTS INSTRUMENTS (7 POINTS)

De différentes natures (mécanique ou électromagnétique), les ondes ont des caractéristiques communes (période, fréquence) et des propriétés qui se manifestent dans de nombreux domaines : acoustique, océanographie, climatologie, astrophysique. Cet exercice en apporte une illustration.

Un microphone est relié à un ordinateur. Différents instruments à corde sont placés devant ce microphone. On réalise une acquisition des sons émis par ces instruments, puis, pour certains, une analyse spectrale à l'aide d'un logiciel adapté.
Un son est caractérisé par des propriétés physiologiques. L'étude des caractéristiques des courbes obtenues (ou des spectres associées) lors des acquisitions permet de retrouver certaines de ces propriétés.

1. Enregistrements de sons

Deux des sons étudiés correspondent à la même note.

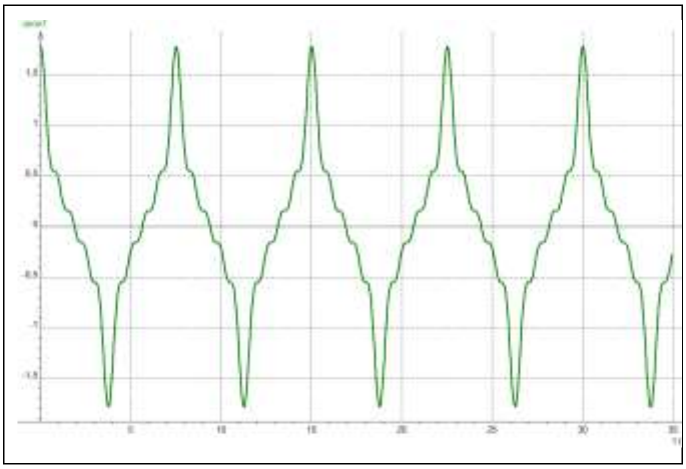
1.1. Quelle est alors leur propriété physiologique commune ? Nommer la grandeur physique associée.

1.2. Identifier les courbes correspondant à ces sons parmi celles des enregistrements 1 à 4 ci-dessous, tous effectués sur 35 ms. Justifier la réponse sans calcul.

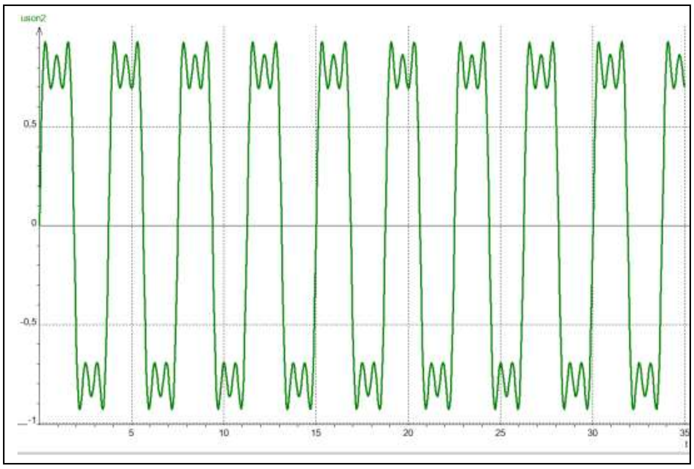
1.3. Sont-ils obtenus avec le même instrument ? Justifier à l'aide des courbes. Quelle est la propriété physiologique mise en jeu ?

1.4. Les sons produits sont-ils purs ou complexes ?

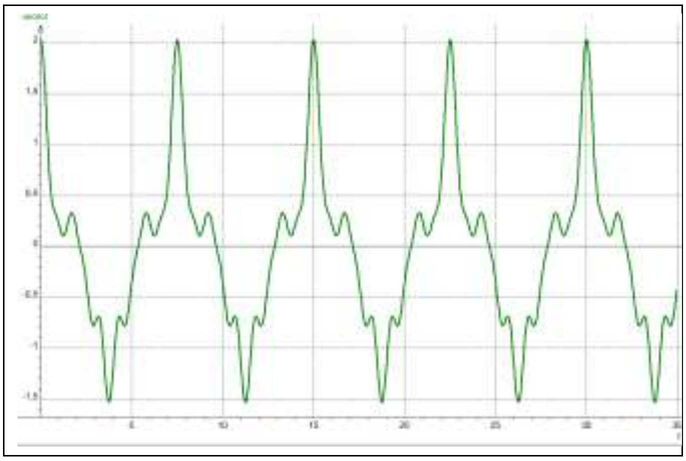
Enregistrement 1



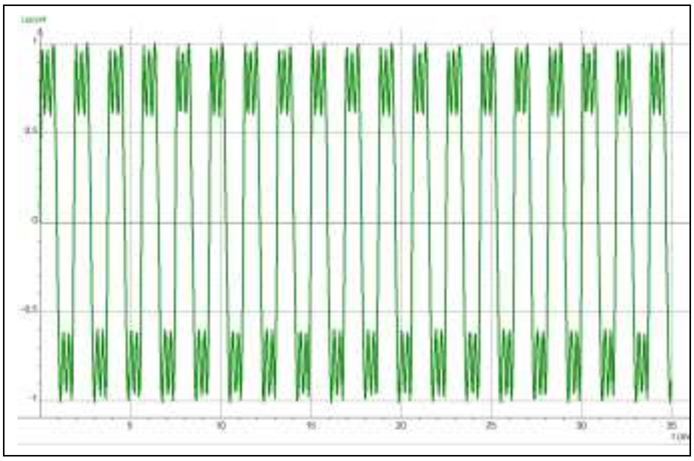
Enregistrement 2



Enregistrement 3

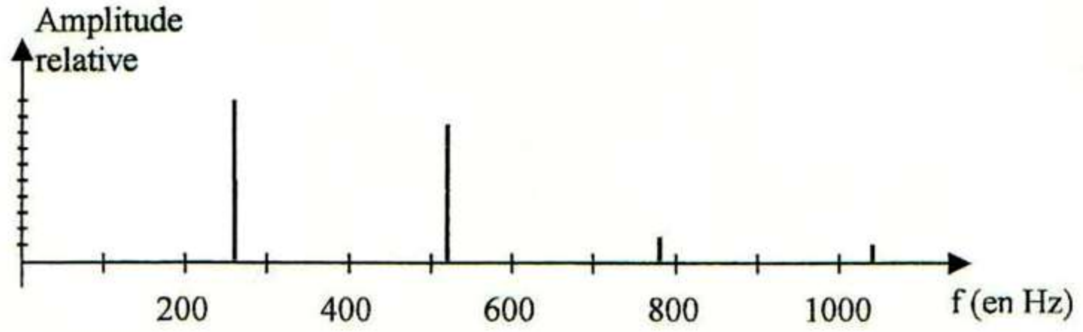


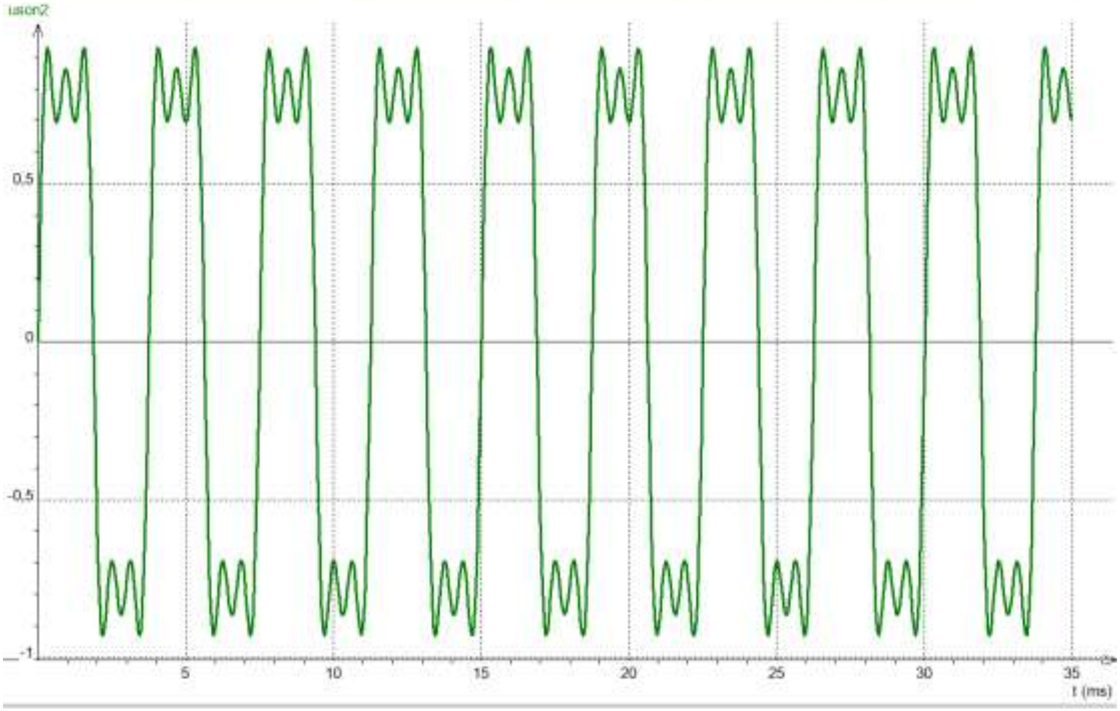
Enregistrement 4



2. Enregistrement et spectre

Les figures ci-dessous représentent l'enregistrement d'un son et le spectre associé.
Donner les éléments qui valident la correspondance entre cet enregistrement et le spectre. *Des mesures* ***précises*** *étayeront notamment la réponse.*





3. Accorder un instrument et en écouter plusieurs

Un son a été produit en frappant une corde de piano tendue entre deux points fixes. L'instrument n'étant pas accordé, le son produit par la corde s'avère trop grave.

3.1. Pour l'accorder faut-il tendre davantage la corde ou la détendre ? Justifier à partir des documents 1 et 2 ci-dessous et des connaissances.

Document 1. Son d'un piano

Le piano est un instrument dont les cordes, tendues entre deux points fixes, sont mises en vibration par le choc de marteaux. Chaque marteau est actionné en appuyant sur une touche du piano. Toutes les cordes ont la même longueur noté L.
On montre que les sons produits ont la même longueur d'onde que l'onde générée le long de la corde de piano, suite à la frappe du marteau, soit 2L.

Document 2. Célérité

L'expression de la célérité d'une onde le long d'une corde tendue est :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

v *: en m.s*$^{-1}$.
F : tension de la corde en N.
μ : masse linéique de la corde en kg.m^{-1}.

3.2. Vérifier l'homogénéité de l'équation du document 2. Pour cela réaliser une analyse dimensionnelle des mebres de gauche et de droite de la relation et vérifier que les résultats obtenus sont identiques.
Donnée : une force est homogène au produit d'une masse par une accélération comme le poids d'un corps sur Terre est le produit de la masse par l'accélération de la pesanteur terrestre g = 9,8 m.s^{-2}.
Rappel : pour l'analyse dimensionnelle, les notations dim (*X*) ou [*X*] signifie « dimension de la grandeur X » et, en mécanique, on cherche toujours à exprimer la dimension d'une grandeur en fonction de celles-ci-dessous qui sont indépendantes :

dim(Masse) ou [masse] = M *dim(durée) ou* [durée] = T *dim(longueur) ou* [longueur] = L

3.3. Lors d'un concert, un piano produit un son dont le niveau d'intensité sonore à 5 m d'un auditeur est estimé à 70 dB. L'exposition à une intensité sonore **I** = $1,0\square10^{-1}$ W.m^{-2} peut endommager l'oreille de l'auditeur. Combien de pianos doivent jouer pour atteindre cette intensité pour un auditeur situé à 5 m de chaque piano ? Conclure.

On rappelle que le niveau sonore, exprimé en décibels (dB) d'une source sonore est donné par la formule :

$$L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

Avec : I_0 : Intensité de référence correspondant à l'intensité minimale audible : $1,0\times10^{-12}$ W.m^{-2} ;
I_1 : Intensité sonore donnée par une source sonore en W.m^{-2}.

Soit pour n sources sonores : $L_n = 10 \times \log\left(\frac{n.I_1}{I_0}\right)$

On rappelle : $\log(a\times b) = \log a + \log b$

4. Une autre méthode pour accorder des instruments : Les battements

Avant le concert, des violonistes cherchent à accorder leur instrument en jouant la note la$_3$ de fréquence égale à 440 Hz. La fréquence émise par chaque instrument n'étant pas rigoureusement égale à 440 Hz, le son résultant est alternativement plus ou moins intense : on entend des battements qui sont des variations périodiques de l'amplitude sonore.

Pour rendre compte de ce phénomène, on simule à l'aide d'un ordinateur des signaux dont les fréquences f_a (courbe 1 de la **figure 2**) et f_b (courbe 2 de la **figure 2**) diffèrent légèrement : f_a = 420 Hz et f_b = 460 Hz.

Ensuite, on effectue l'addition de ces deux signaux (courbe 3 de la **figure 6**).

Les courbes obtenues sont rassemblées **figure 2** ci-dessous.

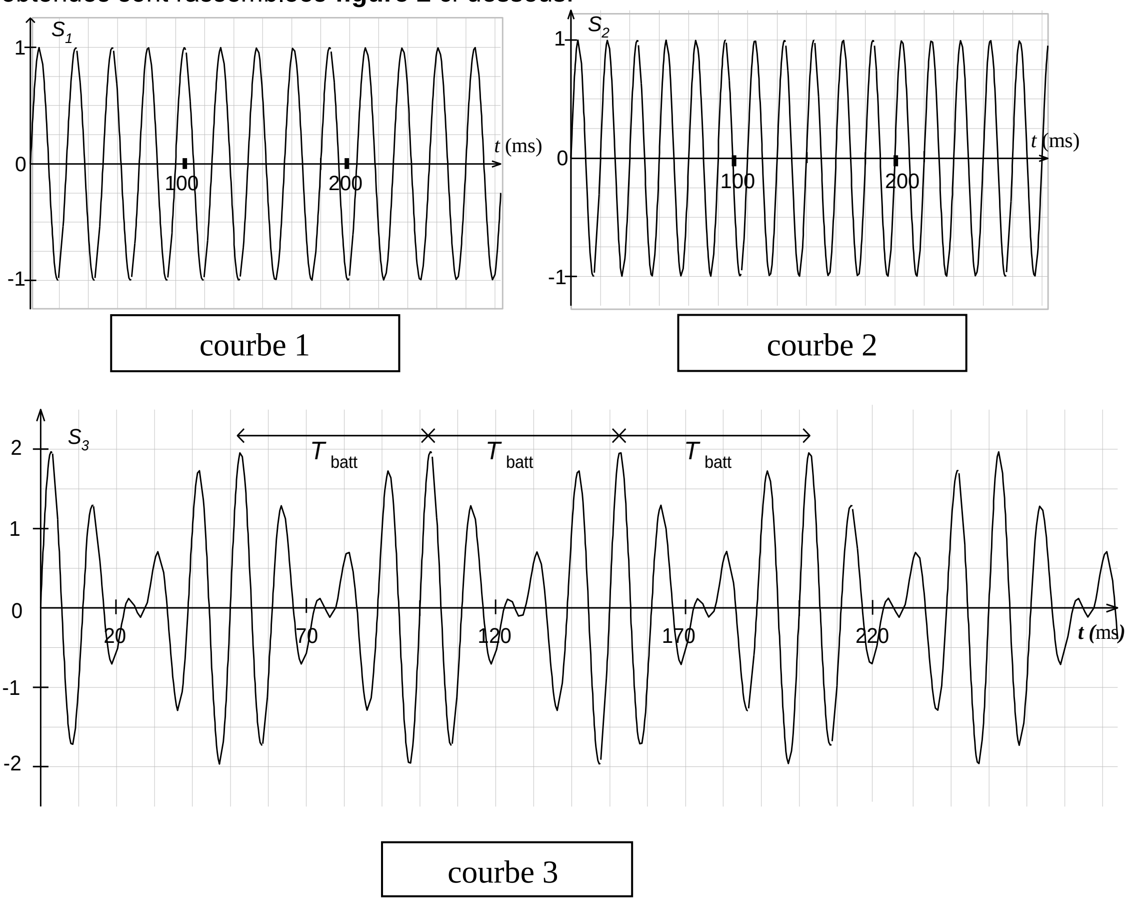


Figure 2. Courbes simulant les signaux sonores

La période des variations d'amplitude, encore appelées battements, est notée T_{batt} (voir courbe 3 de la figure 2).

Vérifier que $f_{batt} = \frac{1}{T_{batt}} = \frac{f_b - f_a}{2}$. Pour cela, déterminer la valeur de f_{batt} à partir de la courbe 3 et la comparer à celle de $\frac{f_b - f_a}{2}$.

Lorsque le musicien constate l'arrêt des battements, que peut-il en conclure ?

CORRECTION EXERCICE. ETUDES DES SONS PRODUITS PAR DIFFERENTS INSTRUMENTS (7 POINTS)

1.1. Une même note implique une hauteur commune pour les deux sons. La hauteur est mesurée par la fréquence.
1.2. On observe que les courbes des enregistrements 1 et 3, effectués sur 35 ms, ont la même période (un peu plus de 4T contre plus de 9T et 18T pour les deux autres). On en déduit que ces deux enregistrements correspondent donc à deux sons de même hauteur.
1.3. On observe par ailleurs que les courbes des enregistrements 1 et 3 diffèrent de par leur forme : ils ne sont donc pas obtenus par le même instrument. Le timbre des deux sons est différent.
1.4. L'enregistrement correspondant à un son pur est une sinusoïde, ce qui n'est pas le cas des enregistrements 1 et 3, on en déduit que les deux sons correspondants sont complexes.
2. La courbe de l'enregistrement représentative du son 2 est périodique mais n'est pas une sinusoïde. Elle correspond donc à un son complexe, ce qui est en accord avec le spectre correspondant qui comporte quatre harmoniques (le spectre correspondant à un son pur ne comporterait que le fondamental).
Déterminons le plus précisément possible la valeur de la fréquence du fondamental du son sur le spectre et la valeur de la période et finalement de la fréquence du son sur l'enregistrement. Sur le spectre, on mesure 10,8 cm pour $f = 1000\ Hz$ et 11,3 cm pour le quatrième harmonique $f_4 = 4f_1$, soit : $f_1 = \frac{11{,}3\times1000}{4\times10{,}8} = 262\ Hz$. La fréquence du son égale à celle de son fondamental est $262\ Hz$.
Sur l'enregistrement, on mesure 13,7 cm pour 35,0 ms et 13,25 cm pour 9T, soit : $T = \frac{13{,}25\times35{,}0}{9\times13{,}7} = 3{,}76\ ms$ ce qui correspond pour le son à une fréquence de : $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{3{,}76\times10^{-3}} = 266\ Hz$.
Vérifions que les deux valeurs de fréquence sont compatibles : $\left|\frac{266-262}{266}\right| = 1{,}5\%$. L'écart relatif étant inférieur à 5% on en déduit que ces deux valeurs sont compatibles.
3.1. D'après le document 1 la longueur d'onde λ du son produit par une corde de piano est $\lambda = 2L$ (1), avec L longueur de la corde du piano. Par ailleurs on a la relation : $\lambda = \mathrm{v}.T = \frac{\mathrm{v}}{f}$ donc $f = \frac{\mathrm{v}}{\lambda}$ (2)
En considérant le document 2 et les relations (1) et (2) : $f = \frac{\mathrm{v}}{\lambda} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (3)
En exploitant la relation (3) on peut dire que pour accorder une corde dont le son produit s'avère trop grave, c'est-à-dire pour augmenter la hauteur du son donc sa fréquence, il faut, <u>**L et μ étant constants**</u>**,** augmenter la tension de la corde, soit la tendre davantage.
3.2. $\dim(\mathrm{v}) = \mathrm{L.T^{-1}}$ et $\dim\left(\sqrt{\frac{\mathrm{F}}{\mu}}\right) = \sqrt{\frac{\dim(\mathrm{F})}{\dim(\mu)}} = \sqrt{\frac{\mathrm{M.L.T^{-2}}}{\mathrm{M.L^{-1}}}} = \sqrt{\mathrm{L^2.T^{-2}}} = \mathrm{L.T^{-1}}$
L'homogénéité de la relation $\mathrm{v} = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ est bien vérifiée.
3.3. Pour un auditeur situé à 5 m : **$n.I_1 = I$** où n représente le nombre de pianos.
avec I_1 tel que : **L_1** $= 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$ soit $\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = \frac{L_1}{10}$ d'où : $I_1 = I_0 \cdot 10^{L1/10}$
avec L_1 = 70 dB il vient : $I_1 = 1{,}0\times10^{-12}\times10^{70/10} = 1{,}0\times10^{-5}\ \mathrm{W.m^{-2}}$
donc $n = \frac{I}{I_1}$ soit $n = \frac{1{,}0\times10^{-1}}{1{,}0\times10^{-5}} \approx$ **10^4 pianos !**
Il n'est pas possible de mettre autant de pianos à 5 m d'un auditeur. L'intensité sonore correspondant à des dommages de l'oreille ne sera pas atteinte lors d'un concert.

Durée	« Taille » sur le papier
$3T_{bat}$	7,6 cm
220 ms	11,0 cm

Donc $T_{bat} = 220 \times 7{,}6 / (3\times11{,}0) = 51$ ms (3 C.S.acccordées)

$$f_{bat} = \frac{1}{T_{bat}} = 20\ \mathrm{Hz}$$

$$\frac{f_b - f_a}{2} = \frac{460-420}{2} = \frac{40}{2} = 20\ \mathrm{Hz}.$$

On vérifie aux erreurs de mesure près : $f_{bat} = \frac{f_b - f_a}{2}$.

Lorsqu'il n'y a plus de battement, f_{bat} = 0 Hz donc $f_b = f_a$: tous les deux violons sont **accordés.**