

Ondes sonores

TD7

Capacités exigibles

- Déterminer la fréquence du fondamental et des harmoniques à partir du spectre d'amplitude d'un signal sonore.
- Définir et distinguer la notion de timbre et de hauteur.
- Exploiter la relation entre l'intensité acoustique et le niveau sonore.
- Citer et exploiter l'unité correspondant au niveau sonore : le décibel (dB).
- Exploiter des informations relatives aux courbes de sensibilité de l'oreille humaine (fréquences audibles, seuil d'audibilité, seuil de douleur, etc.).

Niveaux

- ♥ À savoir refaire !
- 📦 Niveau découverte
- ★ Niveau apprenti
- ★★ Niveau confirmé
- ★★★ Niveau expert

Exercice 1 : Questions de cours

- Q1** Donner la définition d'un son.
- Q2** Donner une valeur approchée de la vitesse du son dans l'air. Cette valeur est-elle plus élevée ou plus faible dans l'eau ?
- Q3** Qu'est-ce qu'un signal périodique ?
- Q4** Donner l'expression de la fréquence d'un signal périodique.
- Q5** Qu'appelle-t-on son pur et son composé ?
- Q6** À main levée, dessiner un spectre avec 4 pics de fréquences différentes. Préciser les abscisses et ordonnées. Indiquer les pics correspondant aux fréquences fondamentale et harmoniques.
- Q7** Définir la notion de hauteur et de timbre en acoustique.
- Q8** Donner les limites du domaine audible. On précisera les fréquences et les domaines encadrant l'audible.

- Q1** Le signal précédent est-il pur ou complexe ? Pourquoi ?
- Q2** Cette corde est-elle bien accordée ?
- Q3** Sachant que plus on tend la corde plus le son est aigu (fréquence haute), doit-on ici tendre ou détendre la corde ?

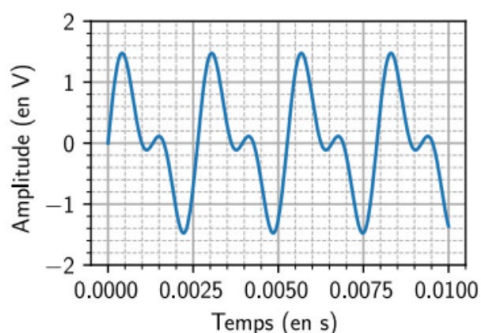
Voici l'expression mathématique permettant de modéliser ce son :

$$u(t) = 1.0 \times \sin(2\pi \times 380 \times t) + 0.7 \times \sin(2\pi \times 760 \times t)$$

- Q4** Dessiner le spectre correspondant et préciser la fréquence du fondamental et des harmoniques.

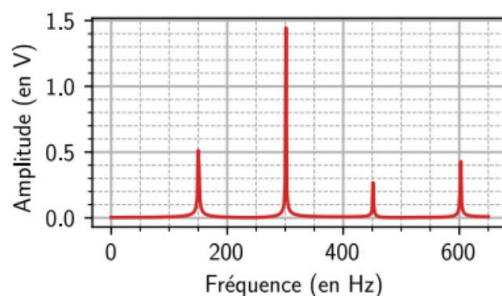
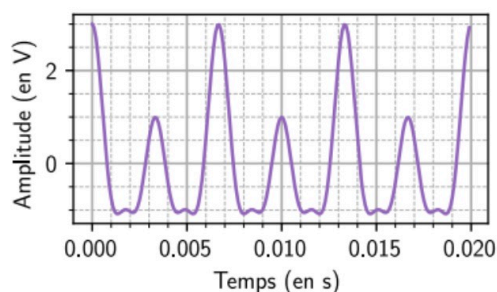
Exercice 2 : Accorder une guitare

On cherche à accorder une corde de guitare à la note La3 qui correspond à 440 Hz. On joue la corde et en enregistrant le son on obtient la courbe ci-dessous.



Exercice 3 : Évolution d'un spectre

Voici un signal et le spectre qui lui est associé :



- Q1** Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de mesurer la fréquence fondamentale **sur**

le signal. Où retrouve-t-on cette fréquence sur le spectre ?

Q2 Comment sont appelés les pics suivants sur le spectre ?

Q3 Que dire de leurs fréquences par rapport à la fréquence fondamentale ? Quelle serait la fréquence de l'harmonique suivante ?

Q4 À partir du spectre, proposer une équation pour modéliser ce signal.

⊗ On fera intervenir ici une somme de fonctions sinusoïdales.

Q5 Sur votre calculatrice ou sur Python, tracer la modélisation précédente.

Exercice 4 : Caractéristiques d'une onde sonore



Lors d'une expérience de démonstration, un haut-parleur est alimenté par un générateur basse fréquence (GBF). On s'intéresse au mouvement des molécules qui composent l'air. L'amplitude est réglée au maximum, la tension d'alimentation est sinusoïdale avec une fréquence de 1 Hz.

Q1 Décrire le mouvement de la membrane.

Q2 Quel type d'onde est généré ?

Q3 Le mouvement de la membrane génère-t-il un son audible ? Justifier.

La fréquence du signal est ensuite réglée sur 800 Hz sans changer les autres réglages.

Q4 Expliquer pourquoi le son est alors perceptible.

Q5 Pourquoi est-on obligé d'abaisser l'amplitude du signal tellement le son perçu semble fort ?

La fréquence du signal est réglée sur 1200 Hz. La forme du signal est triangulaire.

Q6 Comment qualifie-t-on le signal ? Comment sera modifié le spectre issu du signal triangulaire par rapport à celui issu du signal sinusoïdal ?

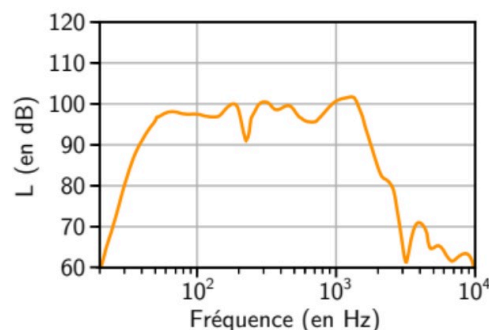
Q7 Comment est appelée la fréquence donnée dans l'énoncé ?

Q8 La fréquence est maintenant réglée sur 10 kHz. L'utilisateur a alors l'impression que le son est bien plus fort. Pourquoi ?

Exercice 5 : Qualité d'un haut-parleur



Le haut-parleur de qualité doit être capable de reproduire les sons de diverses fréquences avec une intensité convenable. La courbe de réponse en fréquence est donnée :



Q1 Indiquer la particularité de l'échelle sur l'axe des abscisses.

Q2 Pour un son de 400 Hz, relever le niveau d'intensité sonore émis par le haut-parleur.

Q3 Déterminer l'intensité sonore d'un son à 400 Hz, sachant que niveau d'intensité sonore et intensité sonore sont reliés par la relation :

$$L = 10 \times \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \text{ avec } I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

Q4 En vous appuyant sur le graphique, déterminer la plage de fréquence pour laquelle l'intensité sonore est supérieure à $1 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Ce haut-parleur restitue-t-il bien les sons aigus ou graves ?

Exercice 6 : Le Rafale



À proximité d'une piste d'atterrissage, on mesure un niveau d'intensité sonore de 110 dB lorsqu'un avion de chasse de type Rafale atterrit.

Q1 Calculer l'intensité sonore correspondante.

Q2 Quel serait le niveau d'intensité sonore si deux avions atterrirent ?

Q3 Et si toute l'escadrille (12 appareils) venait à atterrir ?

Exercice 7 : Niveau d'intensité sonore (Extrait du sujet Métropole 2021)

Le son est produit par la vibration d'objets et il arrive jusqu'à nos oreilles sous forme d'ondes se propageant dans l'air. Les sons sont perçus de manière plus ou moins intense.

L'intensité sonore, ou intensité acoustique notée I et exprimée en W.m^{-2} , caractérise l'intensité du signal perçue par l'oreille.

On calcule le niveau d'intensité sonore noté L en décibels (dB) à partir de l'intensité sonore notée I (W.m^{-2}) par la relation : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

On rappelle que $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ (intensité sonore minimale de référence).

Les deux parties peuvent être traitées de façon indépendante.

Partie A : onde sonore et intensité

Nos oreilles peuvent être endommagées irrémédiablement si le niveau d'intensité sonore et la durée d'exposition au bruit sont trop importants.

Une personne souhaite assister au décollage de la fusée Ariane sans protection auditive.

Après avoir déterminé le niveau d'intensité sonore de la fusée Ariane au décollage, au voisinage de la rampe de lancement, utiliser les données ainsi que vos connaissances pour déterminer à quelle distance minimale la personne doit être de la rampe de lancement pour s'assurer que le bruit du décollage ne présente aucun risque pour son audition.

Données :

L'intensité acoustique du bruit généré par le décollage de la fusée Ariane vaut 10^2 W.m^{-2} à une distance de 100 m de la rampe de lancement.

On considère, pour simplifier, que l'oreille humaine ne subit pas de dommage pour un son dont le niveau d'intensité sonore ne dépasse pas 100 dB, pendant une durée d'exposition ne dépassant pas quatre minutes par jour.

Le niveau d'intensité sonore diminue de 20 dB lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10. Ainsi pour une distance à la source $d_2 = 10 d_1$,

$$L(d_2) = L(d_1) - 20 \text{ dB}.$$

Partie B : étude mathématique

1. On rappelle que $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. Montrer que $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

2. Calculer l'intensité sonore pour $L = 50 \text{ dB}$.

3. L'intensité sonore I double-t-elle lorsque l'on double le niveau d'intensité sonore L ?

4. Pour une distance à la source d_1 (resp. d_2), on note L_1 (resp. L_2) le niveau d'intensité sonore à la distance d_1 (resp. d_2) de la source et I_1 (resp. I_2) l'intensité sonore à la distance d_1 (resp. d_2) de la source.

Le niveau d'intensité sonore diminue de 20 dB lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10. Ainsi si $d_2 = 10 d_1$, on a : $L_2 = L_1 - 20 \text{ dB}$.

Montrer que l'intensité sonore est divisée par 100 lorsque la distance par rapport à la source est multipliée par 10.

Exercice 8 : Surveillance d'une pompe (Extrait du sujet zéro 2021)

Lorsque le niveau d'eau est trop bas dans le bassin, une pompe prélève de l'eau dans une nappe phréatique pour assurer la continuité de l'alimentation des canons à neige.

Un contrôle de maintenance de la pompe est effectué périodiquement. Ce contrôle s'effectue grâce à une analyse des vibrations mécaniques pour évaluer l'état de fonctionnement de la machine tournante et de ses pièces mobiles.

Cette analyse permet de diagnostiquer des défauts de fonctionnement avant que la machine ne tombe en panne, comme un déséquilibre, un désalignement ou un endommagement des rotors, des roulements ou de toute autre interface mécanique entre des composants de la machine.

L'étude des vibrations mécaniques s'effectue à l'aide d'une analyse fréquentielle, grâce à un analyseur de spectre.

Un technicien relève le spectre représenté ci-contre (figure 5) pour une fréquence de rotation du moteur de la pompe de 1 500 tr/min.

L'étude a pour but de déterminer s'il est possible de diagnostiquer un défaut d'alignement de la machine tournante.

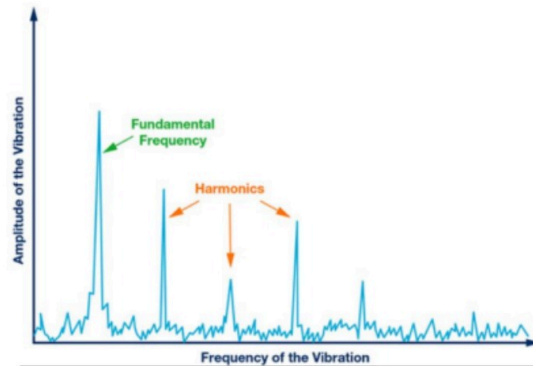


Figure 5 : Spectre d'amplitude des vibrations à 1500 tr/min

2.2.1. Déterminer la fréquence du fondamental, sachant qu'elle correspond au nombre de tours effectués en une seconde par l'arbre du moteur de la pompe.

2.2.2. Déduire alors la fréquence des trois premiers harmoniques indiqués sur la figure 5.

Un défaut d'alignement peut être détecté par un pic d'amplitude non négligeable sur le spectre pour une fréquence égale à 2 fois la fréquence de rotation du moteur (parfois 3 ou 4 fois).

2.2.3. Justifier à partir du spectre de la figure 5 si un problème d'alignement de la machine peut être diagnostiqué.