

TP8 : Acoustique musicale et physique des sons

Pour décrire les sons, les musiciens leur associent des caractéristiques telles que la hauteur, le timbre et l'intensité. Nous allons étudier les grandeurs physiques qui permettent de définir un son et considérer leurs effets sur notre perception auditive.

1 Hauteur d'un son

1.1 Fréquences audibles

L'oreille humaine est sensible aux sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz (en dessous les sons sont qualifiés d'infrasons) et 20 kHz (au-delà les sons sont qualifiés d'ultrasons). En dehors de cet intervalle de fréquence, le son est inaudible.

Plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu. La qualité sonore qui nous permet de faire la distinction entre les sons graves et les sons aigus est leur hauteur.

La hauteur d'un son est associée à la fréquence de la vibration sonore.

1.2 Mesure de la hauteur d'un son pur

Dans Atelier scientifique, ouvrir le fichier la3diapason.wav, correspondant à la note La3 joué par un diapason.

1. Quelle est l'allure du signal sonore ? Définir alors un son pur.
2. Déterminer la période T du signal sonore et en déduire sa fréquence f .
3. Comparer avec la fréquence 440 Hz associée à cette note (écart relatif).
4. Effectuer la transformée de Fourier du signal
5. Quelle est l'allure du spectre d'un son pur ?
6. Déterminer la fréquence du signal sonore associé au La3 du diapason. Comparer avec la fréquence et l'amplitude du signal enregistré.

1.3 Mesure de la hauteur d'un son complexe

Charger le fichier violonLa3.wav associé au violon.

1. Le signal sonore est-il sinusoïdal ? Est-il périodique ? Justifier.
2. Déterminer la période T puis la fréquence f du signal sonore.
3. Réaliser le spectre du son complexe associé au signal du violon
4. Noter les valeurs des fréquences des 3 premiers harmoniques, notées f_1 , f_2 et f_3 .
5. Comparer la fréquence f_1 de l'harmonique n°1 avec la fréquence f du signal sonore et conclure.
6. Quelle relation a-t-on entre la fréquence f_n de l'harmonique de rang n avec la fréquence f_1 de l'harmonique de rang 1 ?
7. Définir un son complexe.

2 Timbre d'un son

2.1 Son émis par différents instruments

À l'écoute de la note La3 jouée par les instruments de musique : violon, flute à bec et flute traversière, on différencie les instruments.

Deux sons de même hauteur émis par deux instruments différents sont perçus différemment par l'oreille. Ils se différencient par leur timbre.

2.2 Importances des harmoniques

Réaliser le spectre du son complexe associé à chaque instrument écouté précédemment

1. Noter les valeurs des fréquences et amplitudes des 3 premiers harmoniques.
2. Pour une même note jouée par différents instruments, le timbre dépend-il de la hauteur du son ? De quoi dépend-il alors ?

2.3 Enveloppe d'un son

Une vibration sonore associée à une note émise par un instrument ne conserve pas la même amplitude pendant toute la durée de l'émission. On définit :

- L'attaque du son : montée en amplitude de la vibration sonore au début de l'émission (l'excitateur agit sur le système vibrant).
- Le corps : phase entre l'attaque du son et son extinction, durant laquelle le son est le plus présent mais des harmoniques peuvent s'éteindre.
- L'extinction : phase pendant laquelle l'amplitude de la vibration diminue avant de s'annuler, à la fin de l'émission.

L'attaque et l'extinction constituent les transitoires du son.

Avec les logiciels de traitement numérique du son, il est facile de faire quelques manipulations qui illustrent ces aspects.

Prenons par exemple 9 notes jouées au piano (fugue en fa dièse mineur, BWV883, de J.S. Bach) numérisées sur 16 bits à 44,1 kHz dans le fichier : `clavier1.wav`.

Un simple retournement de chaque note jouée, entraîne l'obtention d'une séquence sonore, sans doute encore musicale, mais où l'on ne reconnaît évidemment plus le timbre du piano. (fichier `clav1rev.wav`)

On peut également appliquer une amplification modulée dans le temps de façon à atténuer les attaques de chaque note. Le son obtenu est alors bien celui de la séquence de la fugue, mais joué sur un autre instrument (fichier `clav1cou.wav`).

On remarque donc que les transitoires jouent un rôle important dans le timbre d'un instrument.

3 Intensité acoustique

3.1 Intensité sonore

L'énergie acoustique E_a (en joule J) produite par la source sonore est répartie sur une surface sphérique de plus en plus grande au fur et à mesure de la propagation de l'onde sonore. L'oreille de surface fixe S , ne reçoit qu'une partie de l'énergie acoustique, de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne de la source sonore.

- La puissance acoustique P_a est l'énergie acoustique reçue par unité de temps : elle se mesure en watt W ($1 \text{ W} = 1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$)
- L'intensité sonore I est la puissance acoustique reçue par unité de surface, S : $I = \frac{P_a}{S}$.

Pour que l'oreille perçoive un son dans le domaine audible, l'intensité sonore I doit être telle que :

$$10^{-12} \text{ W/m}^2 < I < 25 \text{ W/m}^2$$

où $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ (l'intensité de référence) est considéré comme la limite de sensibilité de l'oreille. La borne supérieure de l'intensité sonore correspond à une destruction de l'oreille.

Le niveau sonore L est lié à l'intensité sonore I par une échelle logarithmique :

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

L a pour unité le décibel acoustique (dBA).

Cette notion physiologique quantifie la sensation sonore : lorsque l'intensité sonore est multipliée par 2, le niveau sonore est augmenté de 3 dBA.

La valeur de 90 dBA est considérée comme le seuil de danger. Une exposition prolongée à des niveaux sonores supérieurs entraîne des dégradations irréversibles de l'audition.

1. Compléter le schéma ci-contre en calculant le niveau acoustique en dB des différentes intensités sonores.
2. Montrer que lorsque l'intensité acoustique double le niveau sonore augmente de 3 dB.

