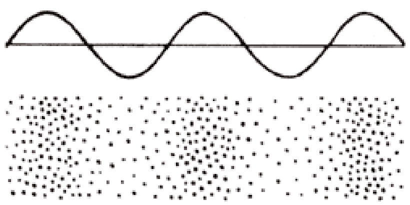
P2 – Sons
Ondes

« Le son est une propriété de l'état exceptionnel de corde tendue. Chaque sensation est une exception ou *excursion*, un écart de quelque zéro. »

Paul Valéry, *Analecta*, *Tel quel*.

I. Caractéristiques des ondes sonores

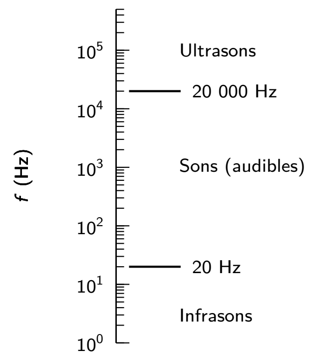
1. Ondes sonores



Compression/dilatation dans une onde sonore

Rappel
Une onde sonore est une onde mécanique (nécessité d'un milieu matériel), progressive, constituée par une suite de compressions et de dilatations du milieu.

Fréquence et audition



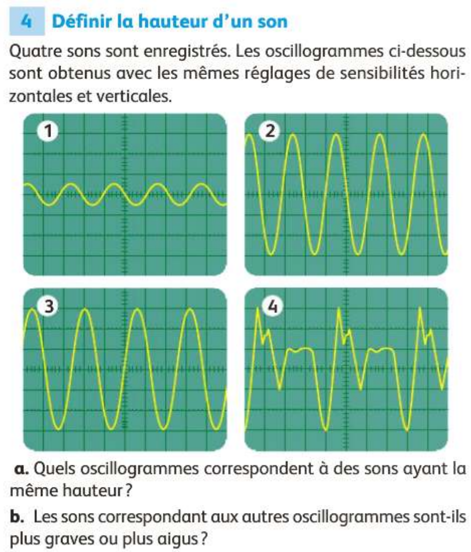
Propriété
L'oreille humaine perçoit des sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20 kHz.

Remarque
De même l'œil humain perçoit les ondes électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre 400 THz et 770 THz.

2. Hauteur d'un son

Définition
La hauteur d'un son musical est relative à son caractère aigu ou grave.
Elle est liée à la fréquence de l'onde (en Hz).
- Plus le son est aigu, plus la fréquence est élevée.
- Plus le son est grave, plus la fréquence est basse.

Ex. 4 p. 62

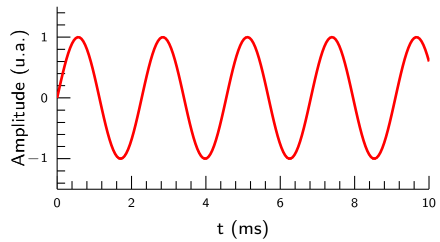

4 Définir la hauteur d'un son
Quatre sons sont enregistrés. Les oscillogrammes ci-dessous sont obtenus avec les mêmes réglages de sensibilités horizontales et verticales.

a. Quels oscillogrammes correspondent à des sons ayant la même hauteur ?
b. Les sons correspondant aux autres oscillogrammes sont-ils plus graves ou plus aigus ?

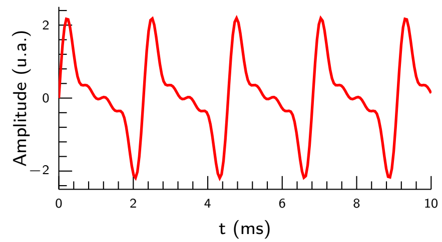
a. Les oscillogrammes 1 et 2 ont la même période donc la même fréquence et la même hauteur.

b. Les oscillogrammes 3 et 4 ont des périodes plus longues, leurs sons sont donc plus graves.

3. Timbre d'un son



La$_3$ d'un diapason, f=440 Hz



La$_3$ de clarinette, f=440 Hz

Le son émis par un diapason est pur, c'est un son sinusoïdal : $A = A_0 \cos(\frac{2\pi}{T}t + \phi_0)$.

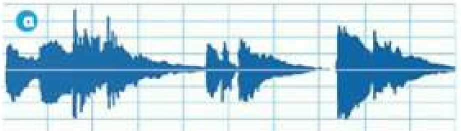
Par contre le son émis par un instrument de musique est périodique mais rarement sinusoïdal. Son timbre est unique.

Définition
Le timbre d'un son permet de différencier deux instruments de musique jouant la même note.

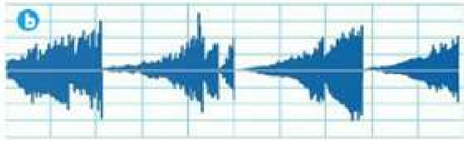
Il est caractérisé par la « forme » de la période.

Ex. 8 p. 63

L'enregistrement ⓐ correspond à neuf notes jouées consécutivement au piano.



Un logiciel permet de retourner chacune des notes (l'enchaînement des notes reste le même), ce qui donne l'enregistrement ⓑ.



Le son correspondant à ce second enregistrement rappelle davantage un accordéon qu'un piano.

Les périodes gardent les mêmes valeurs, les notes sont inchangées.

La forme (l'enveloppe) des périodes n'est plus la même, le timbre est différent.

Ex. 5 p. 63

5 Exploiter une relation

Calculer le niveau sonore indiqué par un sonomètre captant les sons d'intensité sonore suivants :

a. $I_1 = 8{,}5 \times 10^{-8}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ (pluie).

b. $I_2 = 1{,}4 \times 10^{-4}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ (salle de restauration).

c. $I_3 = 5{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ (tondeuse à gazon).

$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$

$I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$

a. $L = 10 \log \frac{8{,}5 \times 10^{-8}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 49\ \mathrm{dB}$

b. $L = 10 \log \frac{1{,}4 \times 10^{-4}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 81\ \mathrm{dB}$

c. $L = 10 \log \frac{5{,}5 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 1{,}1 \times 10^{2}\ \mathrm{dB}$

4. Intensité et niveau sonore

L'intensité sonore I est l'énergie transportée par une onde sonore par unité de temps et de surface. Elle s'exprime en watt par mètre carré ($\mathrm{W \cdot m^{-2}}$)

Les intensités sonores de plusieurs sources s'additionnent : $I = I_1 + I_2 + ... + I_n$.

Cette intensité est liée à la perception sensorielle du son :

— $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$: seuil de l'audition,

— $I_m = 1\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$: seuil de la douleur.

L'ouïe humaine s'étale sur une très large gamme d'intensités sonores : $1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ à $1{,}0\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$ et l'intensité sonore perçue n'est pas proportionnelle à I.

Pour ces raisons on préfère utiliser le niveau d'intensité sonore L décibel (dB) :

$$\boxed{L = 10 \log \frac{I}{I_0}}$$

L : niveau sonore (dB)
I : intensité sonore ($\mathrm{W \cdot m^{-2}}$)
I_0 : intensité au seuil de l'audition
$I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \mathrm{W \cdot m^{-2}}$

Remarque

Un gain de 10 dB multiplie l'intensité sonore par dix, mais le niveau sonore est proportionnel à la sensation sonore perçue ; un son de 60 dB semble deux fois plus fort qu'un son de 30 dB.

II. Analyse spectrale

1. Principe

Jean Baptiste Fourier, mathématicien et physicien français (1768-1830) a montré que toute fonction périodique de fréquence f_1 peut être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales de fréquence f_n multiples de f_1.

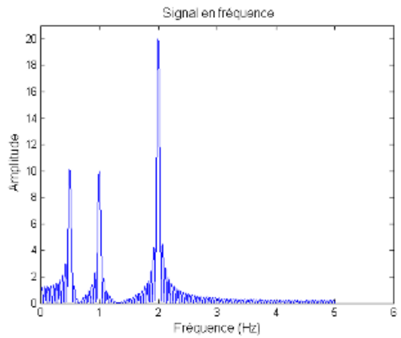
$$g(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} a_n \cos(2\pi f_n\, t) + b_n \sin(2\pi f_n\, t)$$

g : fonction périodique de fréquence f_1
$f_1 = \frac{1}{T}$: fréquence du fondamental (Hz)
$f_n = n\, f_1$: fréquence de l'harmonique de rang n (Hz)
a_n, b_n : amplitudes de l'harmonique de rang n

Un son périodique complexe est une somme de sons purs (sinusoïdaux) !

L'amplitude de chaque harmonique peut être calculée par transformée de Fourier rapide (FFT).

2. Spectre et timbre



Définition

On peut représenter un son en fonction du temps ou des fréquences des sons sinusoïdaux qui le compose : c'est le spectre du son.

Remarques

- Graphiquement la première harmonique est deux fois plus éloignée de l'origine que le fondamental.
- L'amplitude du fondamental peut être plus faible que celle des harmoniques.
- Toutes les harmoniques ne sont pas présentes.

Conséquence

- L'amplitude de chaque pic du spectre caractérise le timbre du son. Le spectre de chaque instrument est différent.
- Le timbre d'un instrument de musique est caractérisé par la forme de sa période et/ou par son spectre.

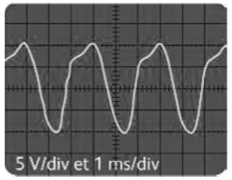
Ex. 11 p. 63

11 Extraire et exploiter des informations

L'oscillogramme du son émis par une guitare est donné sur la figure ci-contre.

a. Le son est-il pur ou complexe ?

b. La guitare est-elle accordée sur l'une des notes ci-dessous ?



Note	Mi_3	La_3	$Ré_4$	Sol_4	Mi_5
Fréquence (Hz)	330	440	587	784	1 318

a. Le son n'est pas sinusoïdal, il s'agit d'un son complexe.

b. $2T \leftrightarrow 6\,\text{div}$

$1\,\text{div} \leftrightarrow 1\,\text{ms}$

$T = \dfrac{6 \times 1,0}{2} = 3{,}0\,\text{ms}$

$f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{3,0 \times 10^{-3}} = 3{,}3 \times 10^{2}\,\text{Hz}$

La guitare est accordée en Mi_3.