

Acoustique musicale

1. Caractéristiques d'un son musical

1.1. Oreille humaine

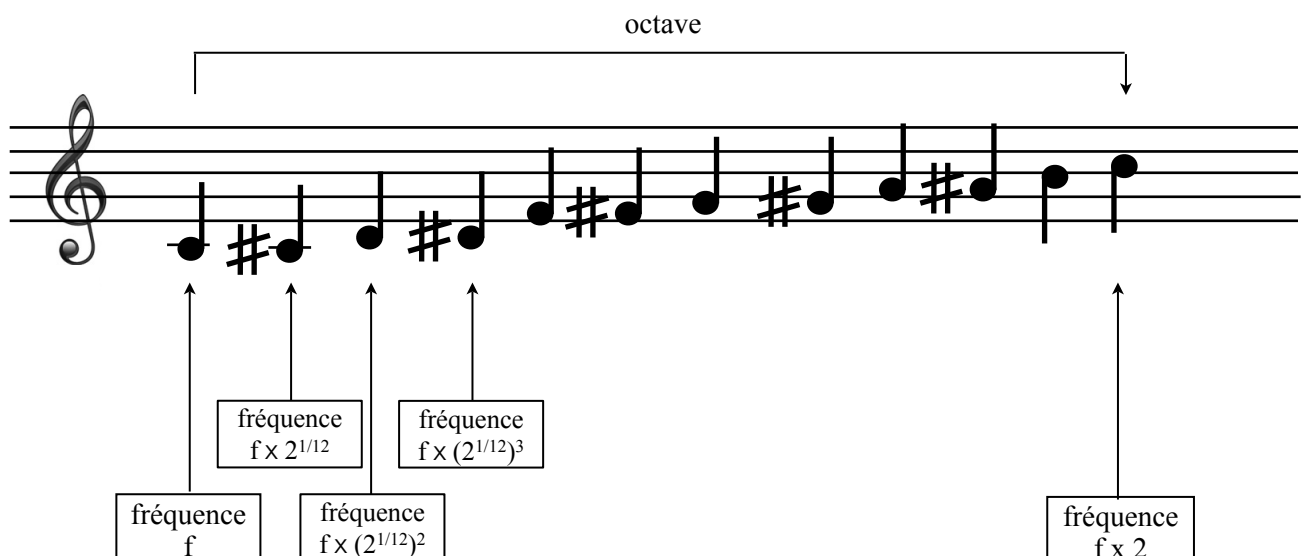
La sensibilité de l'oreille humaine dépend des personnes, mais elle s'étend en moyenne de 20 Hz à 20 kHz. La sensibilité dépend également de la fréquence, elle est maximale aux alentours de 3000 Hz.

1.2. Fréquence

La hauteur d'un son est mesurée par la fréquence du mode fondamental. : si la fréquence est faible, le son perçu est grave et inversement.

1.3. La gamme tempérée

La gamme tempérée est la manière de diviser une octave en 12 degrés chromatiques (demi-tons). L'intervalle entre la première note et la douzième appelé octave. Pour passer de la première note à la douzième, on double la fréquence. Pour passer d'une note à la suivante (un demi-ton), on multiplie la fréquence par $2^{1/12}$.



Souvent, la note choisie comme référence en musique est le « la 4 » dont la fréquence est 440 Hz.

2. Intensité et niveau sonore

2.1. L'intensité sonore

- ▶ Les ondes sonores sont des ondes de pression qui se déplacent et véhiculent de l'énergie.

- ▶ L'intensité sonore I est la puissance sonore reçue par unité de surface :

$$I = \frac{P}{S}$$

où P est la puissance sonore (en W) reçue par un récepteur de surface S (en m^2). L'intensité sonore, se mesure en W.m^{-2} .

2.2. Le niveau sonore

- ▶ La sensation sonore perçue par l'oreille est différente selon l'intensité sonore. Deux instruments qui jouent simultanément ne donnent pas une sensation sonore deux fois plus grande. On introduit alors le niveau sonore, qui se mesure en décibels acoustiques (notés dB_A) :

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

où I est l'intensité sonore considérée et I_0 est l'intensité acoustique de référence. Elle a été fixée par convention à $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$. Cette valeur correspond à la limite de sensibilité de l'oreille humaine à 1000 Hz. Le facteur 10 provient du passage des bels en décibels.

- ▶ L'intensité sonore est proportionnelle au carré de la valeur efficace de la pression sonore. On a donc

$$L = 10 \log \left(\frac{p_e}{p_0} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{p_e}{p_0} \right)$$

La pression acoustique de référence (qui correspond à l'intensité acoustique de référence) vaut $p_0 = 2.10^{-5} \text{ Pa}$.

Attention de ne pas confondre la puissance P et la pression p : deux grandeurs différentes, deux unités différentes...

- Imaginons un instrument qui joue une note avec une intensité I_1 : le niveau sonore entendu vaut

$$L_1 = 10 \log(I_1 / I_0)$$
- Si deux instruments jouent la même note avec la même intensité sonore, alors $I_2 = 2 I_1$. Le niveau sonore vaut alors

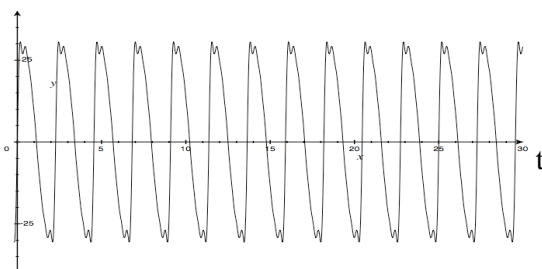
$$\begin{aligned} L_2 &= 10 \log(2I_1 / I_0) \\ &= 10 \log(I_1 / I_0) + 10 \log(2) \\ &= L_1 + 3 \text{ dB}_A \end{aligned}$$

Lorsqu'on double l'intensité sonore, cela correspond à ajouter 3 dB_A au niveau sonore.

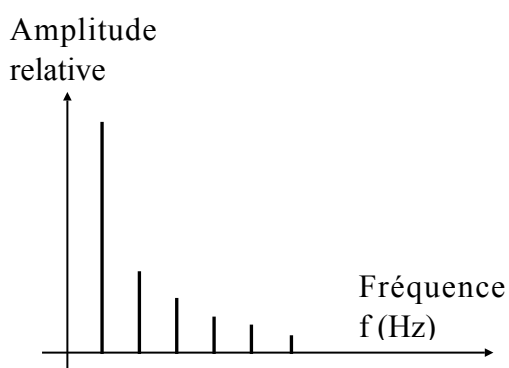
3. Timbre d'un son

- ▶ Le timbre d'un son est la qualité qui permet de différencier les sons des différents instruments. En effet, les sons donnés par les instruments de musique sont des sons complexes, composés de plusieurs harmoniques (différent de celui donné par le diapason qui est dit simple).
- ▶ On peut décomposer la vibration complexe associée à une note émise par un instrument : cette vibration se décompose en une somme de vibrations simples de fréquences $n F_1$, (n entier positif) avec F_0 fréquence du fondamental ($n=1$). Les autres termes de fréquences multiples de F_1 (pour $n>1$) sont appelés harmoniques.

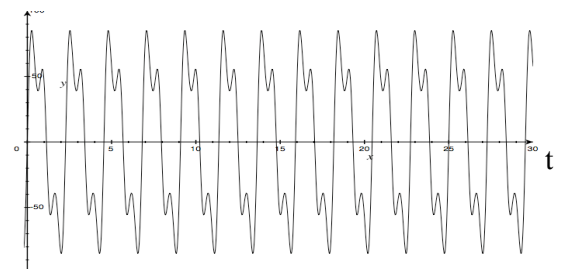
Note jouée à la flûte à bec : $u_1(t)$



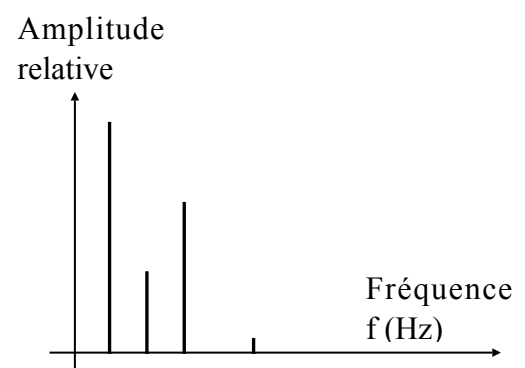
Spectre : $u_1(f)$



Même note jouée au piano : $u_2(t)$



Spectre : $u_2(f)$



Les amplitudes relatives des différents harmoniques d'un spectre confèrent aux différents instruments de musique des sons complètement différents : leurs timbres. Le point commun entre des sons de même hauteur joués par des instruments différents est la fréquence du mode fondamental qui est la même.

Glossaire :

Hauteur d'un son	<i>C'est la qualité qui nous fait dire que le son perçu est grave ou aigu. Plus le son est haut (aigu), plus sa fréquence est grande et inversement.</i>
Fondamental	<i>Une vibration se décompose en une somme de vibrations simples de fréquences nF_1, (n entier positif) avec F_1 fréquence du fondamental ($n=1$). C'est la fréquence de la note émise.</i>
Harmoniques	<i>Les autres termes de fréquences multiples de F_1, soit nF_1 (pour $n>1$), sont appelés harmoniques.</i>
Timbre d'un son	<i>C'est la qualité qui permet de différencier les différents instruments. En effet, les sons donnés par les instruments de musique sont des sons complexes (différent de celui donné par le diapason qui est dit simple).</i>
Octave	<i>Deux notes sont à l'octave quand la fréquence de l'une est le double de la fréquence de l'autre.</i>
Gamme	<i>La gamme représente l'ensemble des notes constituant une octave</i>
Tessiture	<i>C'est l'échelle de sons pouvant être émis par un instrument.</i>