

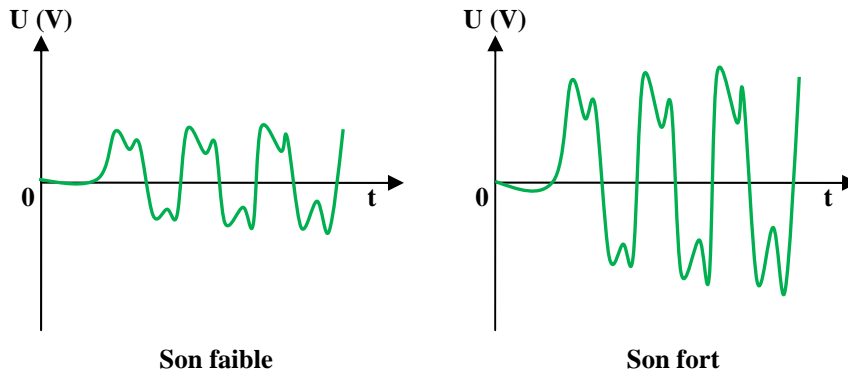
Chapitre 3 : Acoustique musicale et physique des sons

I. Intensité d'un son et niveau sonore

I.1. Intensité sonore

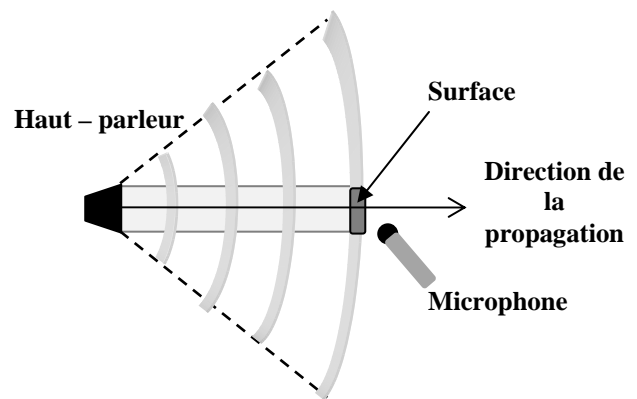
L'intensité d'un son dépend de l'amplitude de la vibration sonore.

Plus un son est fort plus l'amplitude de la vibration sonore est grande.



Plus un récepteur sonore est éloigné d'une source sonore, plus l'intensité sonore I diminue : la puissance émise par la source sonore se répartit sur une surface sphérique de plus en plus grande donc la puissance reçue par unité de surface diminue.

Ainsi on définit l'intensité sonore comme le rapport suivant :



$I = \frac{P}{S}$	I , en $W \cdot m^{-2}$, intensité sonore P , en W , puissance de la vibration sonore reçue S , en m^2 , surface perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde sonore
-------------------	--

I.2. Niveau sonore

L'intensité sonore d'un son produit par deux sources sonores identiques est deux fois plus importante que celle produite par une seule source. Cependant ce son ne paraît pas deux fois plus fort à l'oreille.

Pour comparer les intensités sonores entre elles, on définit le **niveau sonore L** exprimé en **Décibel acoustique (dB_A)**:

$L = 10 \times \log \frac{I}{I_0}$	I , en $W \cdot m^{-2}$, intensité sonore de la vibration acoustique I_0 , en $W \cdot m^{-2}$, intensité sonore correspondant au seuil d'audibilité moyen de l'oreille (intensité sonore de référence) L , en dB_A , surface perpendiculaire à la direction de propagation de l'onde sonore
------------------------------------	--

avec $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$

Lorsque l'intensité sonore de la vibration acoustique vaut I_0 alors $L = 0,0 dB_A$.

Lorsque l'intensité sonore est doublée telle que $I' = 2I$ alors $L' = 10 \times \log \frac{I'}{I_0} = 10 \times \log \frac{2I}{I_0}$ soit

$$L' = 10 \times \left(\log 2 + \log \frac{I}{I_0} \right) = 3,0 + 10 \times \log \frac{I}{I_0} = 3,0 dB_A + L$$

La mesure du niveau sonore s'effectue à l'aide d'un *sonomètre*.

II. Sensibilité auditive

La *sensibilité auditive* de l'oreille *dépend de la fréquence du son* : deux sons de fréquences différentes seront perçus différemment.

Les *fréquences audibles* pour l'oreille humaine sont comprises entre **20 Hz et 20 kHz**. Cette gamme de fréquence dépend de l'âge et de la personne.

Un *audiogramme* représente graphiquement la sensibilité auditive en fonction de la fréquence des sons :

- *en abscisses* on trouve les *fréquences f* (en Hz) sur une *échelle logarithmique* ;

- *en ordonnées* on trouve le *niveau sonore L* (en dB_A).

Un son devient audible à partir de $I_m = I_0 = 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ soit un niveau sonore $L_{\min} = 0,0 \text{ dB}_A$;

Un son provoque une sensation douloureuse à partir de $I_m = 1,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ soit un niveau sonore $L_{\min} = 120,0 \text{ dB}_A$

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

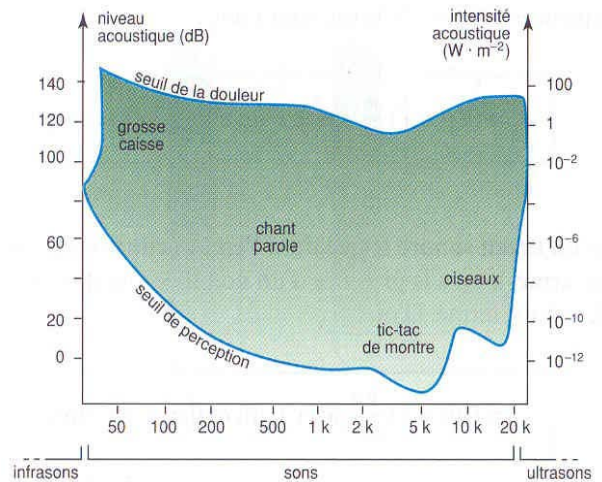


Fig. 8 – Domaine d'audibilité des sons

III. Caractéristiques d'un son musical

III.1. Hauteur d'un son

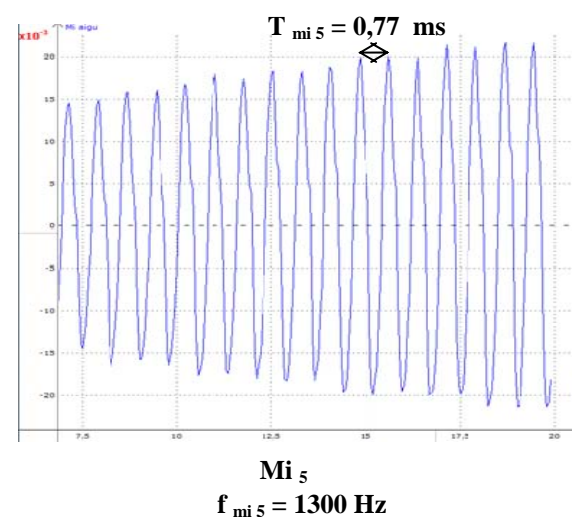
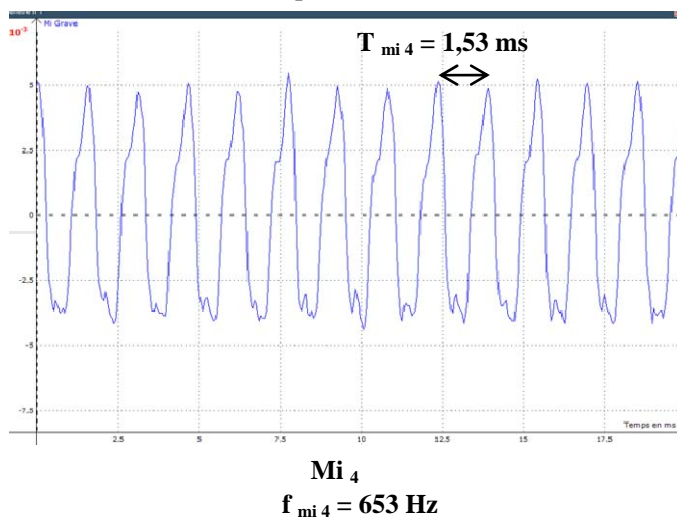
Un instrument de musique produit en général un son complexe : il est constitué du mode fondamental (qui prédomine) superposé avec quelques harmoniques.

La fréquence de ce son complexe correspond à la fréquence du mode fondamental (cf chapitre 1).

La hauteur d'un son est égale à la fréquence de son mode propre fondamental.

Pour un *son aigu*, la fréquence de son fondamental est élevée donc sa *hauteur est grande*.

Pour un *son grave*, la fréquence de son fondamental est faible donc sa *hauteur est faible*.



La note Mi₄ donne un son plus grave que la note Mi₅.

Remarque :

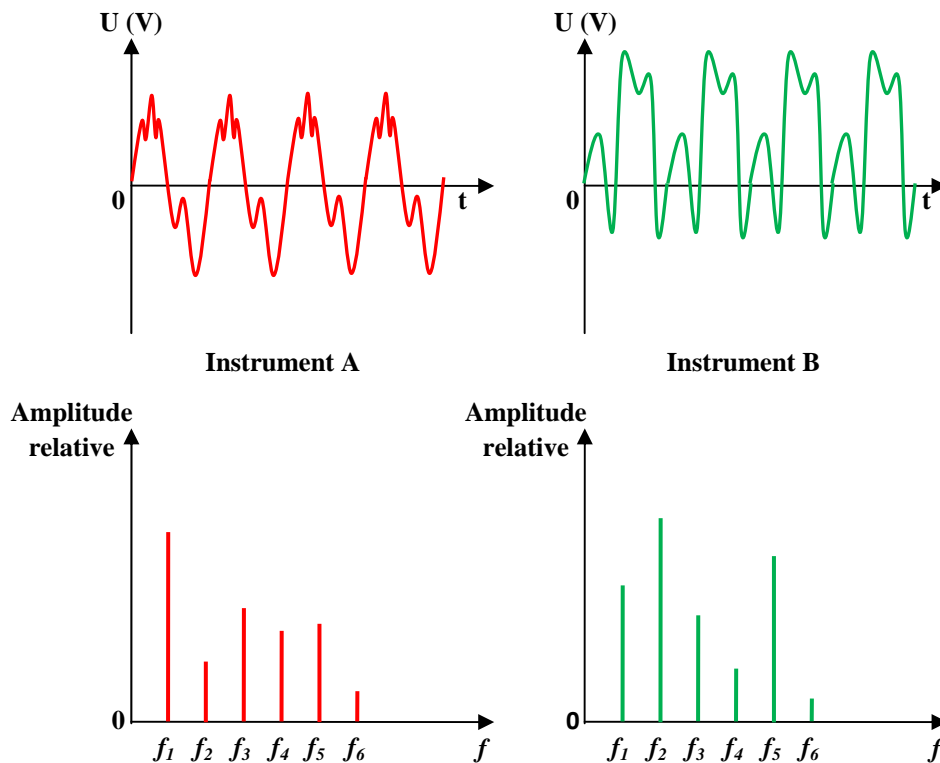
Lorsque la fréquence d'un son est le double de celle d'un autre on dit qu'il est à l'*octave* (cas de la note Mi₅ qui est à l'octave de la note Mi₄).

III.2. Timbre d'un son

Deux sons de même hauteur joués par deux instruments différents ne donnent pas la même impression auditive.

Le timbre d'un son dépend de la présence (ou non) et de l'importance des différents harmoniques.

Le timbre d'un son dépend de la nature de l'instrument de musique utilisé.

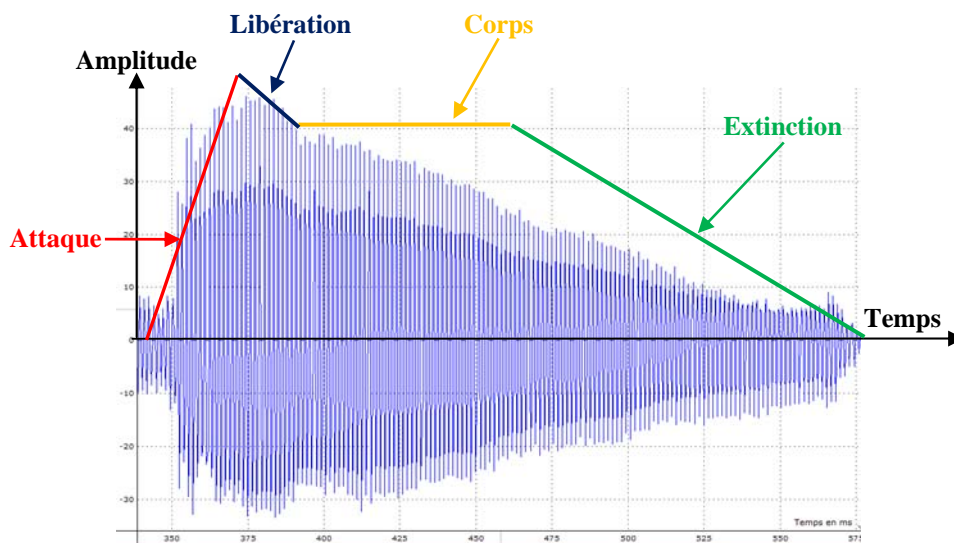


III.3. Enveloppe d'un son

Le son d'un instrument évolue dans le temps. On distingue différentes phases :

- L'**attaque** durant laquelle l'excitateur agit sur le système oscillant ;
- La **libération** marque la fin de l'action de l'excitateur ;
- Le **corps** est la période durant laquelle le son est le plus présent mais des harmoniques peuvent s'éteindre ;
- L'**extinction** durant laquelle le signal et notamment le fondamental s'éteint.

Les phases d'attaque et d'extinction sont appelées **transitoires** (d'attaque et d'extinction).



Le timbre d'un son dépend également de l'évolution des harmoniques au cours des transitions.

IV. La gamme tempérée

IV.1. Intervalle entre deux sons

Lorsque des sons se succèdent ou se superposent, l'oreille est sensible au rapport de leur hauteur.

On définit l'**intervalle entre deux sons** par le rapport de la hauteur du son le plus aigu à celle du son le plus grave soit :

$$\frac{f_{\text{fond,aigu}}}{f_{\text{fond,grave}}}$$

Exemples :

L'intervalle entre le La₃ et le Ré₃ vaut $\frac{f_{\text{La}_3}}{f_{\text{Ré}_3}} = \frac{440,0}{293,7} = \frac{3}{2}$ (quinte) et est agréable à l'oreille, il est dit

consonant ; L'intervalle entre Do₃ et Si₃ vaut $\frac{f_{\text{Si}_3}}{f_{\text{Do}_3}} = \frac{11}{12}$ est désagréable à l'oreille, il est dit **dissonant** ;

IV.2. Octave

Les notes de musique sont des sons périodiques séparés par des intervalles déterminés.

Lorsque deux sons sont séparés par un intervalle égal à 2, la fréquence f' du son le plus haut est le double de la fréquence f du son le plus grave : $f' = 2 \times f$.

On considère alors les deux sons comme deux formes d'une même note et on dit que le son de fréquence f' est à l'**octave** par rapport au son de fréquence f .

Une **octave** est un **intervalle de valeur égale à 2**.

En musique **deux notes qui sont à l'octave portent le même nom**.

Exemple : La fréquence du La₃ est 440 Hz ; la fréquence du La₄, une octave au-dessus, est 880 Hz.

IV.3. Gamme tempérée

La **gamme** est l'**ensemble des notes comprises dans une octave**.

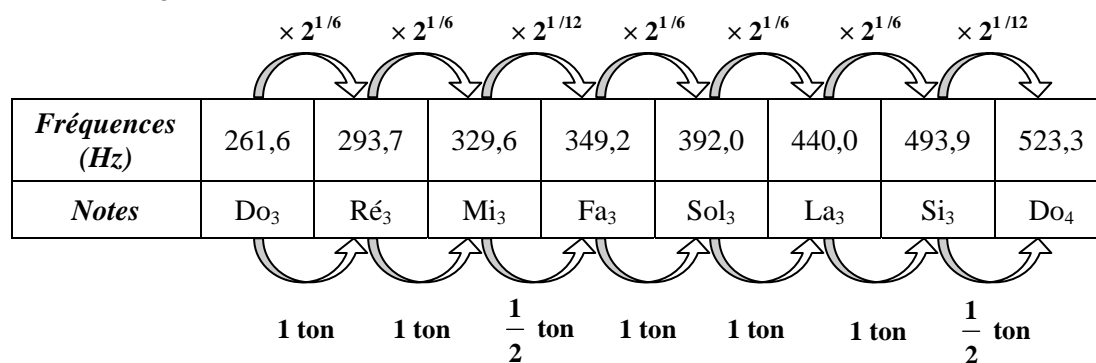
La **gamme tempérée divise l'octave en 12 intervalles égaux**.

L'intervalle de la gamme tempérée appelé **demi-ton** est donc égale à $2^{1/12}$ ou $\sqrt[12]{2}$.

La valeur d'un **ton** est égale à $2^{1/6}$ ou $\sqrt[6]{2}$ et celle de n **demi-tons** à $2^{n/12}$ (où n est un entier).

L'**octave** contient **7 notes différentes** séparées par un **ton** ou un **demi-ton**.

Les notes de la gamme de **Do majeur** sont :



Une **note de référence** a été fixée arbitrairement : la note **La₃** dont la fréquence est de **440,0 Hz**.

Les **notes altérées** par un **dièse (#)** en augmentant leur hauteur d'un demi-ton donc leur **fréquence est multipliée par $2^{1/12}$** : $f_{\text{note A dièse}} = f_{\text{note A}} \times 2^{1/12}$

Les **notes altérées** par un **bémol (b)** en diminuant leur hauteur d'un demi-ton donc leur **fréquence est divisée**

par $2^{1/12}$: $f_{\text{note A bémol}} = \frac{f_{\text{note A}}}{2^{1/12}}$

Dans la gamme tempérée, la hauteur du Ré_# est la même que celle du Mi_b

Sur le clavier d'un piano, les notes blanches correspondent aux notes de la gamme alors que les touches noires correspondent aux notes altérées.

