

1. Les instruments de musique

Pour produire un son, un instrument de musique doit remplir deux rôles : vibrer et émettre.

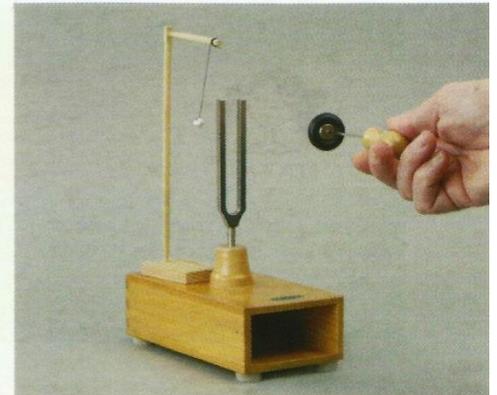
Les instruments de musique possèdent un système mécanique vibrant, c'est le rôle de l'excitateur qui se trouve être :

- les cordes des instruments à cordes, comme la guitare ;
- l'anche ou le biseau de certains instruments à vent ;
- les branches du diapason [Doc. 1], etc.

Cette vibration étant généralement trop faible pour être audible, il est nécessaire de l'amplifier, c'est le rôle du résonateur.

Dans chaque cas, le système vibrant est associé à un système assurant le couplage avec l'air : caisse de résonance pour les instruments à cordes et pour les instruments à percussion, tuyaux pour les instruments à vent.

L'air contenu dans le résonateur, mis en résonance, produit l'onde sonore.



Doc. 1 Mise en évidence des vibrations du diapason.

2. La réception sonore

2.1 L'oreille

L'oreille humaine normale perçoit des sons dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20 000 Hz.

La sensibilité de l'oreille est maximale pour des fréquences voisines de 3 000 Hz. Les ondes sonores de fréquences inférieures à 20 Hz sont appelées **infrasons**. Celles supérieures à 20 000 Hz sont appelées **ultrasons** [Doc. 2].

2.2 Le niveau sonore

Certains sons captés par l'oreille sont perçus de manière désagréable voire douloureuse selon l'intensité sonore.

L'intensité sonore caractérise la puissance énergétique reçue par l'oreille. Elle s'exprime en $W \cdot m^{-2}$.

L'intensité sonore perceptible par l'oreille humaine est comprise entre une valeur minimale $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$ (seuil d'audibilité) et une valeur maximale égale à $25 W \cdot m^{-2}$ (seuil de douleur).

La sensation physiologique n'est pas proportionnelle à cette intensité sonore. En effet, lorsqu'on assiste à un concert, les intensités sonores dues à chaque instrument s'ajoutent, mais le son ne paraît pas proportionnellement plus fort.

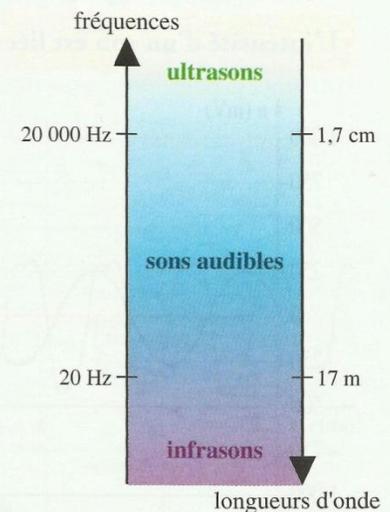
On définit une grandeur appelée niveau sonore L telle que :

$$L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right), \text{ avec } I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2} \text{ (seuil d'audibilité).}$$

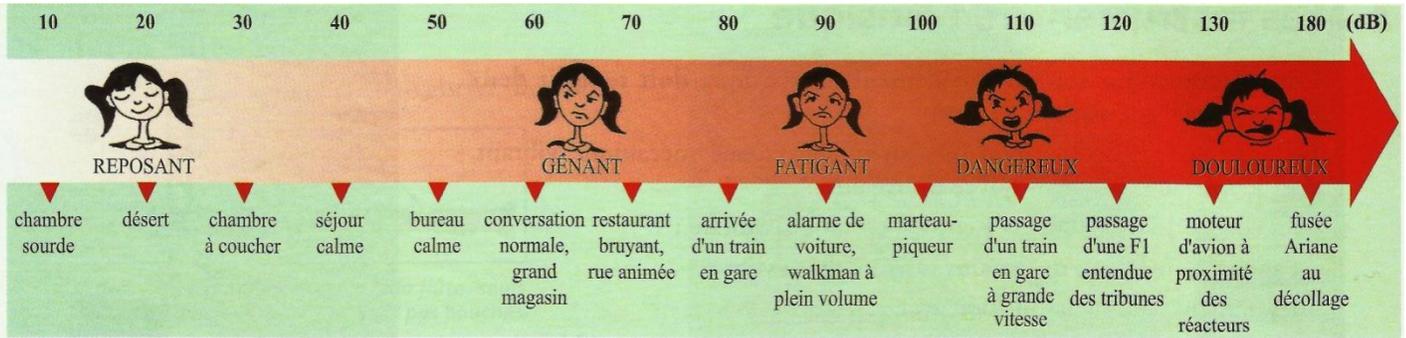
L s'exprime en décibel, de symbole dB [Doc. 3].

Cette grandeur ainsi définie est liée à la sensibilité de l'oreille humaine et de plus une échelle logarithmique est aisée à exploiter.

En effet, le niveau d'intensité acoustique est gradué de 0 à 120 dB environ alors que l'intensité acoustique est graduée de 10^{-12} à $25 W \cdot m^{-2}$.



Doc. 2 Fréquences et longueurs d'onde des sons audibles dans l'air.



Doc. 3 Les niveaux sonores.

3. L'acoustique musicale

Les sons produits par un instrument de musique sont caractérisés par plusieurs grandeurs : l'intensité sonore, la hauteur et le timbre.

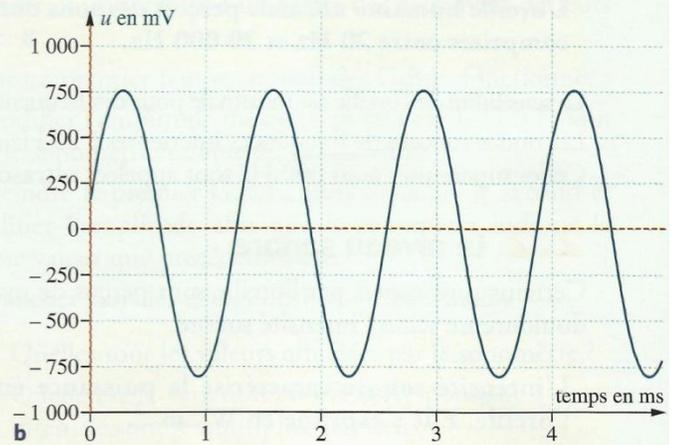
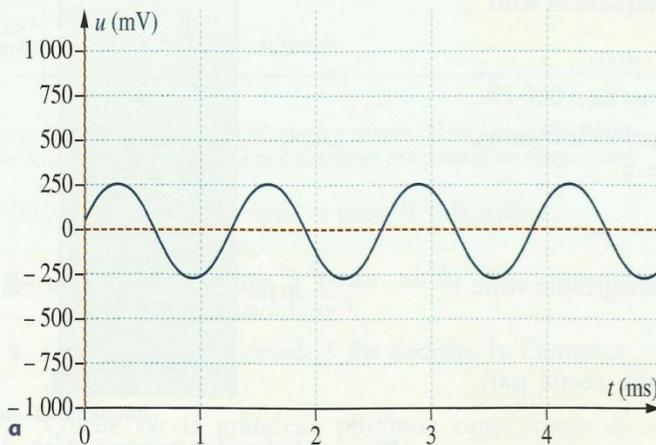
3.1 L'intensité sonore

Un son est produit grâce à une flûte [Doc. 4. a]. Un même son est produit en soufflant plus fort dans la même flûte [Doc. 4. b].

Le deuxième son est perçu de manière plus forte que le premier.

L'intensité d'un son est liée à l'amplitude de l'onde sonore.

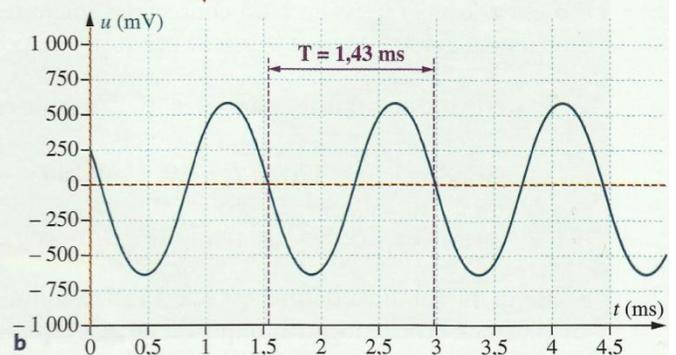
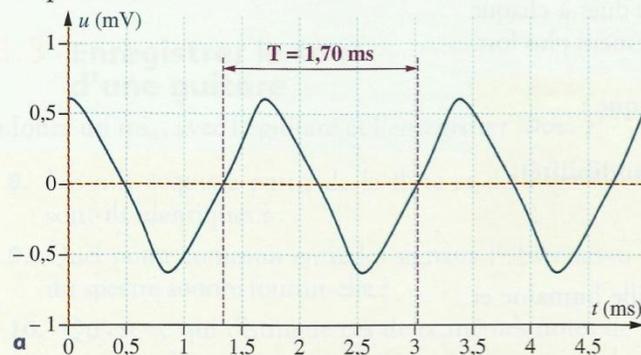
Doc. 4. a et b Un sol joué à la flûte.



3.2 La hauteur

Les graphiques [Doc. 5. a et b] correspondent à deux notes jouées par un même instrument. Elles sont perçues à des hauteurs différentes car les fréquences des vibrations sonores sont différentes.

Doc. 5. a ré₄ de fréquence 587 Hz joué à la flûte. b fa₄ de fréquence 698 Hz joué à la flûte.



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

3.3 Le timbre

De nombreux sons musicaux sont périodiques mais ne sont pas sinusoïdaux.

Le mathématicien Joseph FOURIER (1768-1830) démontra qu'un signal périodique pouvait être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux. L'analyse d'un signal consiste à déterminer à l'aide d'un logiciel la série de signaux sinusoïdaux de fréquences et d'amplitudes différentes qui composent le signal. La représentation de l'amplitude de ces signaux en fonction de leur fréquence est appelée le spectre du signal analysé.

Les fréquences f_n présentes dans le spectre sont des multiples d'une fréquence f_1 [Doc. 6. a et b].

De manière générale, on écrit :

$$f_n = n \cdot f_1.$$

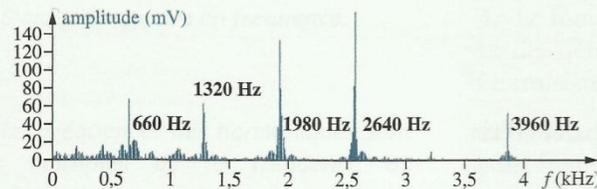
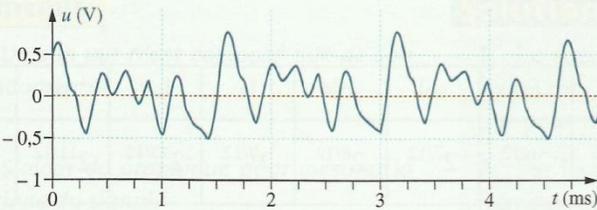
f_n est la fréquence de l'harmonique de rang n et f_1 , la fréquence du fondamental (ou du premier harmonique).

La fréquence d'un signal complexe est égale à la fréquence du fondamental.

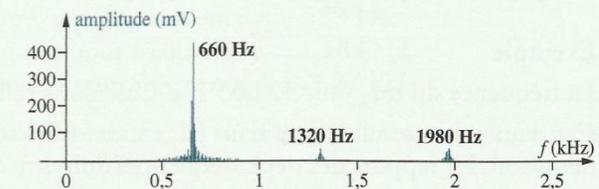
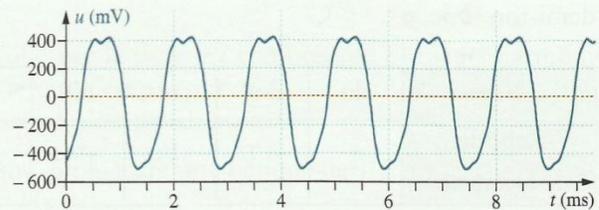
Nous avons enregistré et analysé un mi_4 joué par une guitare puis par une flûte [Doc. 6 a et b].

Ces deux notes ont la même hauteur (même fondamental) mais proviennent d'instruments différents.

On peut remarquer que la composition en harmoniques est différente.



Doc. 6. a mi_4 de fréquence $f = 660$ Hz joué à la guitare.

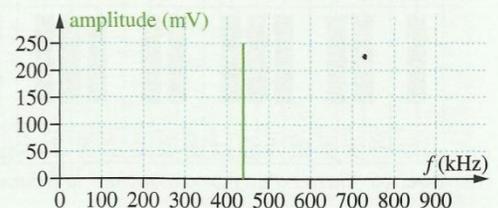
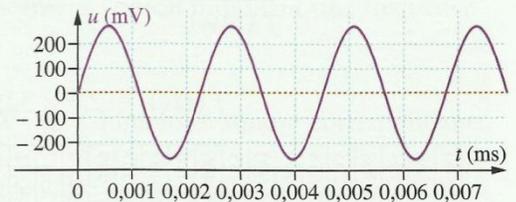


Doc. 6. b mi_4 de fréquence $f = 660$ Hz joué à la flûte.

Le timbre permet de différencier deux notes de même hauteur jouées par des instruments différents.

Remarque : Le spectre sonore du son émis par un diapason comporte un seul trait [Doc. 7] qui correspond à son fondamental.

**Un son comportant un seul harmonique est appelé son pur.
Un son comprenant fondamental et harmoniques est appelé son complexe, il n'est pas sinusoïdal.**



Doc. 7 Son pur. ▶

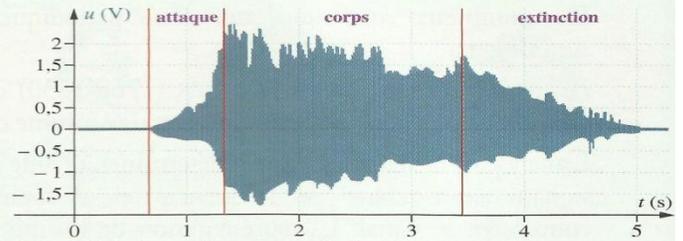
3.4 L'enveloppe

L'enveloppe traduit l'évolution de l'amplitude du signal sonore. Elle contribue également au timbre de l'instrument

[Doc. 8].

On distingue plusieurs phases dans l'enveloppe d'un son :

- **l'attaque**, pendant laquelle l'amplitude du son augmente ;
- **le corps**, pendant laquelle l'amplitude reste à peu près constante ;
- **l'extinction**, pendant laquelle l'amplitude diminue jusqu'à s'annuler.



Doc. 8 Enveloppe d'un son musical.

4. La gamme tempérée

Une gamme est une succession de notes dont les combinaisons produisent des effets sonores agréables. Jean Sébastien BACH (1685-1750) a élaboré la **gamme dite tempérée** qui est toujours utilisée de nos jours.

Deux notes dont le rapport de fréquences est 2, sont séparées par une octave.

Une octave comprend sept notes : do, ré, mi, fa sol, la, si [Doc. 9].

L'octave est divisée en douze intervalles égaux appelés **demi-tons**.

Le rapport de fréquences de deux demi-tons consécutifs est donc égal à $2^{1/12}$.

Deux notes de musique successives sont séparées par un ton ou par un demi-ton [Doc. 9].

Note	do	do#	ré	ré#	mi	fa	fa#	sol	sol#	la	la#	si	do
Rapport de fréquence	1	$2^{1/12}$	$2^{2/12}$	$2^{3/12}$	$2^{4/12}$	$2^{5/12}$	$2^{6/12}$	$2^{7/12}$	$2^{8/12}$	$2^{9/12}$	$2^{10/12}$	$2^{11/12}$	2

Doc. 9 Gamme tempérée. Signification du symbole do# : do dièse.

Exemple

La fréquence du mi_3 vaut 329,63 Hz. Calculons celle du fa_3 .

Ces deux notes se succèdent dans la gamme. Elles sont donc séparées d'un demi-ton. Le rapport des deux fréquences doit être égal à :

$$\frac{f(fa_3)}{f(mi_3)} = 2^{1/12} \quad \text{soit} \quad f(fa_3) = 2^{1/12} \cdot f(mi_3)$$

$$f(fa_3) = 2^{1/12} \times 329,63 = 349,23 \text{ Hz.}$$

27,500	30,868	32,703	36,708	41,203	43,654	48,999	55,000	61,735	65,406	73,416	82,407	87,307	97,999	110,00	123,47	130,81	146,83	164,81	174,41	196,00	220,00	246,94	261,63	293,66	329,63	349,23	392,00	440,00	493,88	523,25	587,33	659,26	698,45	783,99	880,00	987,77	1046,5	1174,7	1318,5	1396,9	1568,0	1760,0	1975,5	2093,0	2349,3	2637,0	2793,8	3136,0	3520,0	3951,1	4186,0
La ₋₁	Si ₋₁	Do ₀	Ré ₀	Mi ₀	Fa ₀	Sol ₀	La ₀	Si ₀	Do ₁	Ré ₁	Mi ₁	Fa ₁	Sol ₁	La ₁	Si ₁	Do ₂	Ré ₂	Mi ₂	Fa ₂	Sol ₂	La ₂	Si ₂	Do ₃	Ré ₃	Mi ₃	Fa ₃	Sol ₃	La ₃	Si ₃	Do ₄	Ré ₄	Mi ₄	Fa ₄	Sol ₄	La ₄	Si ₄	Do ₅	Ré ₅	Mi ₅	Fa ₅	Sol ₅	La ₅	Si ₅	Do ₆	Ré ₆	Mi ₆	Fa ₆	Sol ₆	La ₆	Si ₆	Do ₇

Doc. 10 Clavier d'un piano associant la fréquence à la note correspondante.