Caractéristiques du son

I

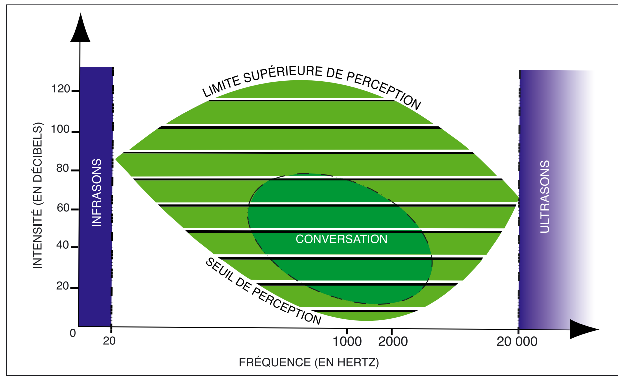
1. Hauteur du son

La ***hauteur du son*** est la sensation d'aigu ou de grave.
Elle est liée à la *fréquence* (Hz) de vibration de la source oscillante.
Un son grave pour l'oreille humaine correspond à une basse fréquence, un son aigu à une fréquence élevée.

L'oreille humaine perçoit des sons si leur fréquence est comprise approximativement entre 20 Hz et 20 kHz (limites extrêmes).

D'un point de vue musical, la hauteur du son définit la ***note*** de musique.

Ainsi, la note "la" d'un diapason correspond à une fréquence de 440 Hz.



2. Intensité du son

L'***intensité du son*** est la sensation de bruit fort ou faible.

Cela dépend de :

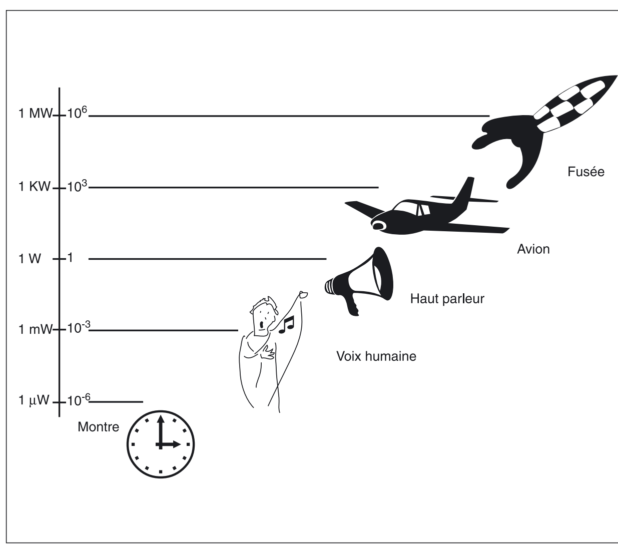
- la source. Par exemple, le vrombissement du réacteur d'avion est perçu plus fort que le ronronnement du chat ;
- la distance entre la source et l'auditeur. Par exemple, le son est plus fort lorsque l'auditeur est plus proche.

Elle est liée à l'*amplitude* de l'onde sonore. Plus l'amplitude est grande et plus l'intensité sera grande aussi.

On définit l'intensité de l'onde sonore comme étant l'énergie qui s'écoule par seconde à travers l'unité de surface du récepteur (W/m²).

Elle correspond à une énergie d'un joule par seconde à travers une surface d'un mètre carré.

L'intervalle d'intensité des sons audibles étant très grand (un facteur 10^{12}), il est pratique d'utiliser une échelle logarithmique appelée échelle décibel.



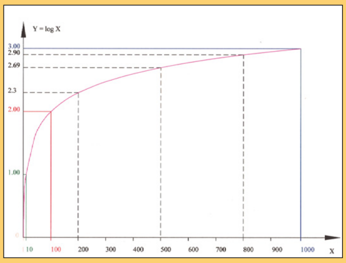
Puissance acoustique de quelques sources, du micro-watt aux méga-watts.

Pour que l'oreille perçoive le son, l'intensité minimale de l'onde doit être au moins de 10^{-12} W/m² (à la fréquence de 1000 Hz) ; c'est le ***seuil d'audition*** (I_0). Lorsque l'intensité est de 1 W/m², le ***seuil de la douleur*** est atteint.

Caractéristiques du son

II

Parenthèse mathématique : la fonction logarithme



Si $y = 10^x$
alors $\log y = x$
Ainsi $1000 = 10^3$ donc $\log 1000 = 3$
et $738 = 10^{2,868...}$ donc $\log 738 = 2,868...$
Remarques : • si $y = 10^x$ et $2y = 10^z$
alors $\log y = x$
et $\log 2y = z = x + 0,30...$
• ainsi $100 = 10^2$
donc $\log 100 = 2$
et $\log 200 = 2,30...$

Par exemple, si $I = 10^{-5}$ W/m²,
$ß = 10 \log (10^{-5} / 10^{-12}) = 70$ dB.

• Supposons que l'intensité de l'onde sonore soit dix fois plus grande :
$ß = 10 \log (10^{-4} / 10^{-12}) = 80$dB

Lorsque l'intensité de l'onde sonore est dix fois plus grande, le niveau d'intensité sonore augmente de 10 dB.

• Supposons que l'intensité de l'onde sonore soit multipliée par deux :
$ß = 10 \log (2\ 10^{-5} / 10^{-12}) = 73,...$ dB.

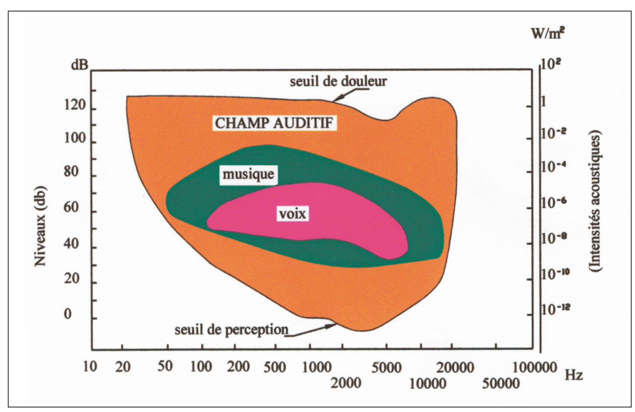
Lorsque l'intensité de l'onde sonore est deux fois plus grande, le niveau d'intensité sonore augmente d'environ 3 dB.

Le ***décibel*** (dB), du nom de Graham BELL, l'inventeur du téléphone, est l'unité du ***niveau d'intensité sonore***.

La relation entre le niveau d'intensité sonore (ß) et l'intensité de l'onde sonore est la suivante:

$$ß = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

où I est l'intensité de l'onde sonore et I_0 est égale à 10^{-12} W/m², l'intensité de référence arbitraire (seuil d'audition).



Le champ auditif d'un être humain est la zone comprise entre le seuil de perception (limite inférieure) et le seuil de douleur (limite supérieure).

3. Le timbre d'un instrument de musique

Le ***timbre d'un instrument de musique*** est ce qui distingue à l'audition deux sons, de même hauteur et de même intensité, émis par des instruments de musique différents.

Il est lié à la *forme* de l'onde sonore (graphique de l'élongation en fonction du temps).

On a représenté ici le son pur émis par un diapason.

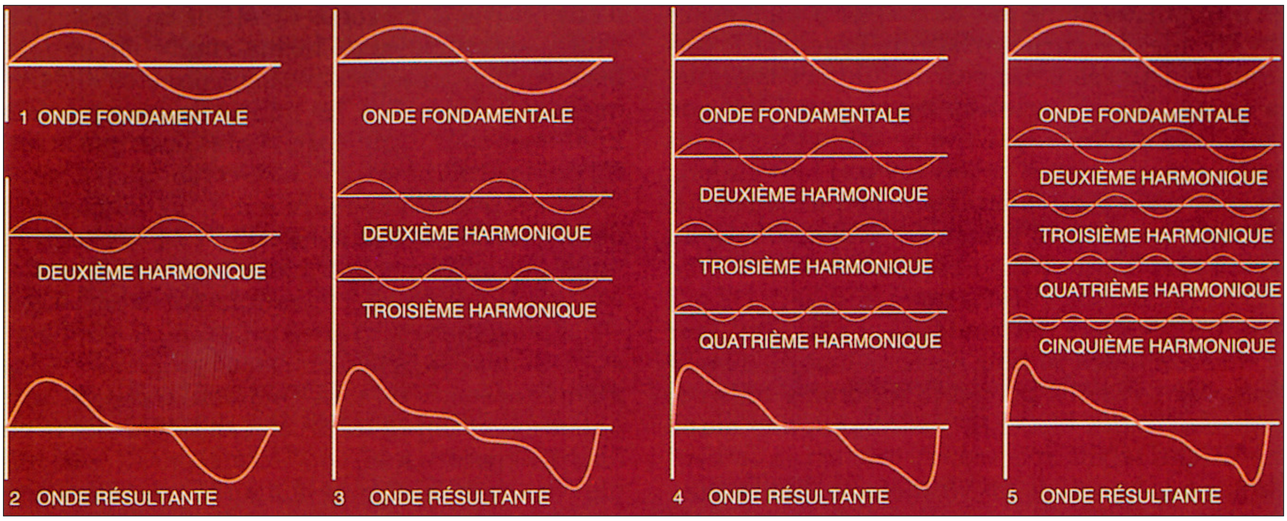
Le son émis par un violon.

Le son d'un hautbois.

Et enfin, le son d'un cor.

Caractéristiques du son

III



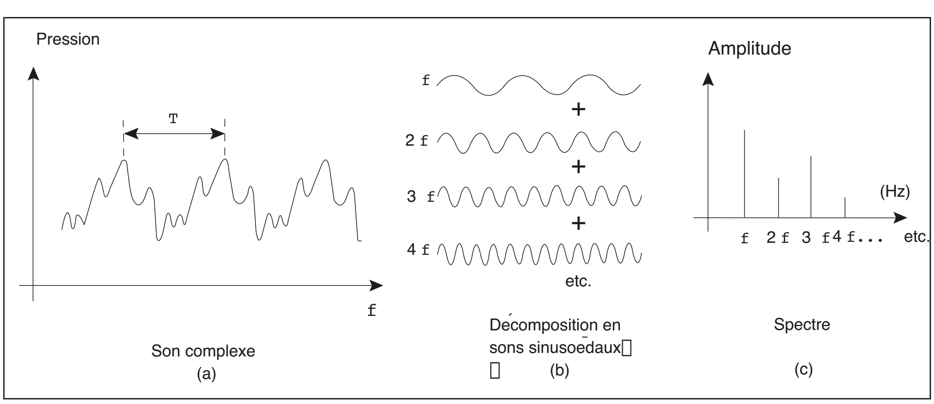
Un son quelconque périodique (il s'agit d'une onde en dent de scie) est la résultante d'une série d'harmoniques, c'est-à-dire d'ondes sinusoïdales dont les fréquences sont les multiples d'une fréquence fondamentale. On a représenté ici la somme de deux, trois, quatre et cinq ondes sinusoïdales ; l'onde résultante obtenue est ainsi la somme de fonctions sinusoïdales de fréquences f, $2f$, $3f$, $4f$ et $5f$.

Il existe un théorème mathématique, nommé Théorème de Fourier, disant que toute fonction périodique peut être décomposée en une somme infinie de fonctions sinus de fréquence multiple.

C'est-à-dire simplement si une fonction F(t) a une période T (fréquence f = 1/T) alors il existe A_1, A_2, A_3,… φ_1, φ_2, φ_3… tels que :
$F(t) = A_1 \sin(2\pi f t + \varphi_1) + A_2 \sin(2\pi\, 2f\, t + \varphi_2) + A_3 \sin(2\pi\, 3f\, t + \varphi_3) + \ldots$
où f est appelée fréquence fondamentale (ou “fondamentale”), 2 f “deuxième harmonique”, 3 f “troisième harmonique”,…

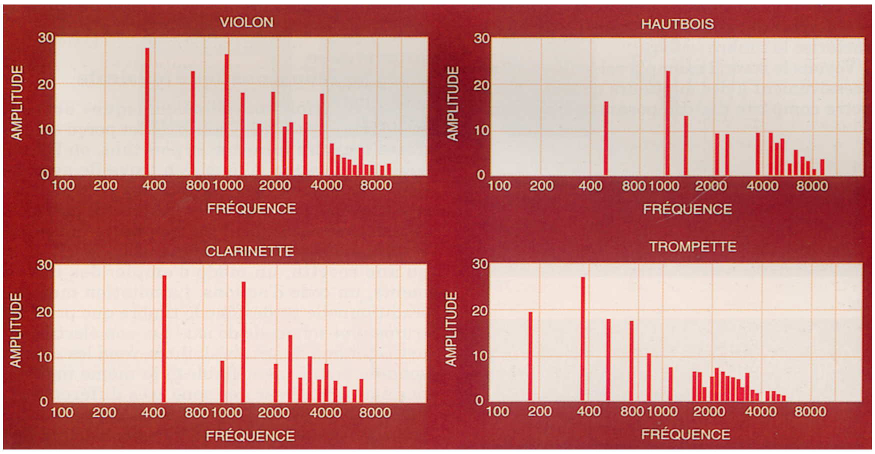
De plus, il existe également un outil mathématique, appelé transformation de Fourier, qui permet de décomposer un signal “élongation en fonction du temps” en un signal “amplitude en fonction de la fréquence”.

C'est-à-dire qu'à partir de la fonction F(t), la transformation de Fourier nous donne f, A_1, A_2, A_3,…



Principe de la décomposition spectrale.

Caractéristiques du son IV



On peut décomposer toute fonction périodique selon ce schéma : c'est la décomposition en séries de Fourier. Chaque spectre représente la fréquence (exprimée en hertz) et l'amplitude (exprimée en décibels) de l'ensemble des harmoniques qui composent le son de l'instrument. Si l'on superpose des composantes sinusoïdales dont les fréquences ne sont pas en progression arithmétique – on ne parle plus alors d'harmoniques mais de partiels –, on obtient un son apériodique ou inharmonique, comme celui d'une cloche. On peut de même réaliser par synthèse de Fourier (on "additionne" des ondes de fréquence f, $2f$, ..., nf) des ondes périodiques quelconques.

Toute note de musique, caractérisée par une fréquence et une amplitude données, est produite par un "cocktail" de vibrations harmoniques propres à l'instrument.

Ce "cocktail" varie d'un instrument à l'autre ; le son perçu est différent.

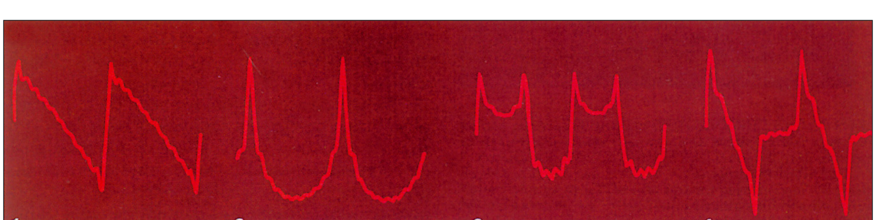
Il est à noter que l'oreille est insensible à la phase des différentes composantes spectrales : φ_1, φ_2, φ_3... Et donc, deux sons dont les graphiques de l'élongation en fonction du temps ne diffèrent que par les phases (φ_1, φ_2, φ_3...) des différentes harmoniques, semblent identiques au niveau de l'oreille.

Les synthétiseurs modernes sont des appareils électroniques qui permettent de reconstituer le timbre de nombreux instruments. Ils utilisent un principe analogue à celui qui permet de reproduire une lumière complexe en superposant diverses radiations monochromatiques

On obtient ainsi, pour chaque note un véritable **spectre acoustique** caractéristique de l'instrument ; c'est un spectre discontinu constitué de "raies".

Soulignons que le spectre à lui seul ne suffit pas à caractériser le timbre d'un instrument (comme le montre la mauvaise qualité des synthétiseurs qui se basent sur ce principe pour reconstituer le timbre d'un instrument "acoustique"). L'"enveloppe temporelle" (la manière dont l'intensité sonore varie au cours du temps) et l'"enveloppe spectrale" (la manière dont la composition spectrale varie au cours du temps) interviennent pour une bonne part dans la qualité (le timbre) d'un son.

Remarque : les spectres acoustiques permettent de distinguer les bruits des sons. Un bruit, en effet est caractérisé par un spectre continu. Il résulte donc de la superposition d'une infinité de fréquences.



La partie de ce graphe illustre les ondes obtenues par synthèse de Fourier en dix harmoniques. On passe de 1 à 2, 3 et 4 en gardant les mêmes amplitudes respectives, mais en modifiant les phases respectives des harmoniques. À l'audition, on ne perçoit pratiquement aucune différence entre 1, 2, 3 et 4 alors que les quatre spectres sont visuellement très différents ; l'oreille n'est pas sensible aux relations de phase entre les composants d'un son.