

Techniques du son

www.techniquesduson.com

Didier Pietquin

Notions fondamentales d'acoustique

1. Qu'est-ce qu'un son ?

- Bruit ou son ?
- Propagation sonore
- Caractéristiques d'un son
 - 1.1. La fréquence
 - Courbes de Fletcher et Munson
 - Longueur d'onde
 - Réponse en fréquence
 - Octave et tiers d'octave
 - Analyse fréquentielle
 - 1.2. L'intensité
 - Puissance acoustique
 - Intensité acoustique
 - 1.3. Le timbre

1. Qu'est-ce qu'un son ?

Un son est une sensation auditive engendrée par une onde acoustique. Cette onde est générée par une vibration (cordes vibrantes, cordes vocales, membrane d'un haut-parleur,...). Vibration qui va créer un déplacement de particules du milieu de propagation (air, eau,...) autour d'une position d'équilibre. Le son ne se propage donc pas dans le vide.

• **Bruit ou son ?**

Comment distinguer le bruit du son ? La différence entre le bruit et le son n'est que subjective et fait appel à une appréciation personnelle : un bruit est souvent jugé désagréable, gênant ; un son implique une notion "d'esthétique", une sensation de plaisir. Dans la réalité, nous avons tendance à juger différemment le bruit que nous faisons de celui que nous subissons. Par exemple, un concert de hard rock sera considéré comme une musique divine pour ses fans et un vacarme infernal pour celui qui n'apprécie pas cette musique.



• **Propagation sonore**

La vitesse du son (ou **célérité C**) va dépendre de la *densité du milieu de propagation* et de la *température*.

La vitesse de propagation du son dans l'air à 20° C est de 340 m/s (mètres par seconde), de 1480 m/s dans une eau à 20° C et de 6000 m/s dans l'acier.

Plus le milieu est dense, plus la vitesse de propagation du son sera importante.

La température va également jouer un rôle : Plus le milieu est chaud, plus l'agitation des molécules qui le compose augmente et favorise la transmission. A l'inverse, dans un milieu froid la vitesse du son diminue. A 0° C, la vitesse des ondes sonore est de 331 m/s dans l'air.

• **Caractéristiques d'un son**

Le son peut être caractérisé par trois paramètres :

- La fréquence (ou sa hauteur)
- L'intensité (ou le niveau sonore)
- Le timbre (la « richesse » du son)

La fréquence

La fréquence est le nombre d'oscillations périodiques par seconde. Elle s'exprime en Hertz (Hz). On parlera également de hauteur d'un son.

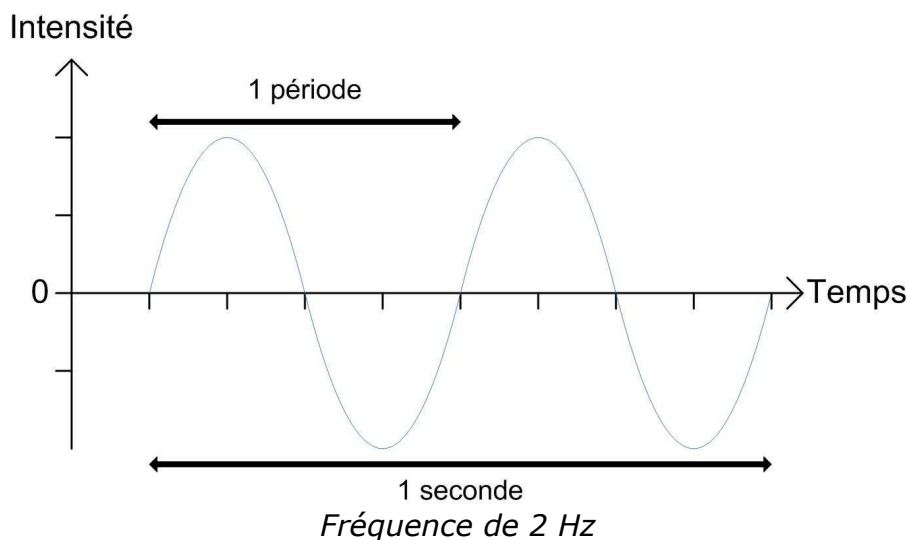
Une fréquence de 100 Hz correspondra donc à 100 oscillations par seconde.

La fréquence est l'inverse de la période.

$$F = 1/T$$

F = fréquence en Hz

T = période

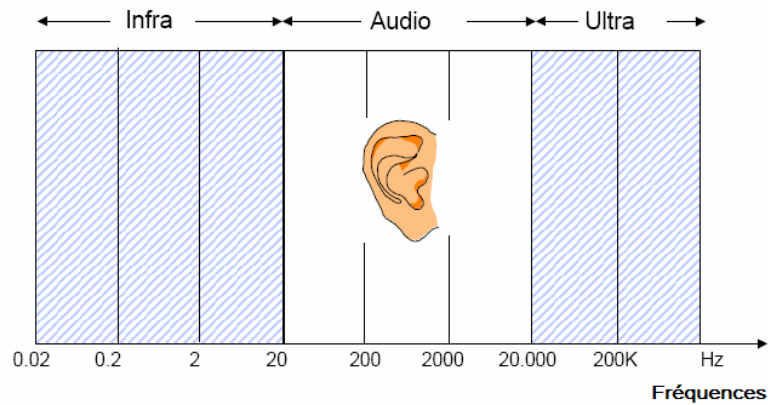


Relations entre fréquence, période et longueur d'onde

Fréquence	100 Hz	1000 Hz	10 000 Hz
Période $T=1/f$	10 ms	1 ms	0,1 ms
Longueur d'onde $\lambda = C/F$	3,4 m	0,34 m	0,03 m

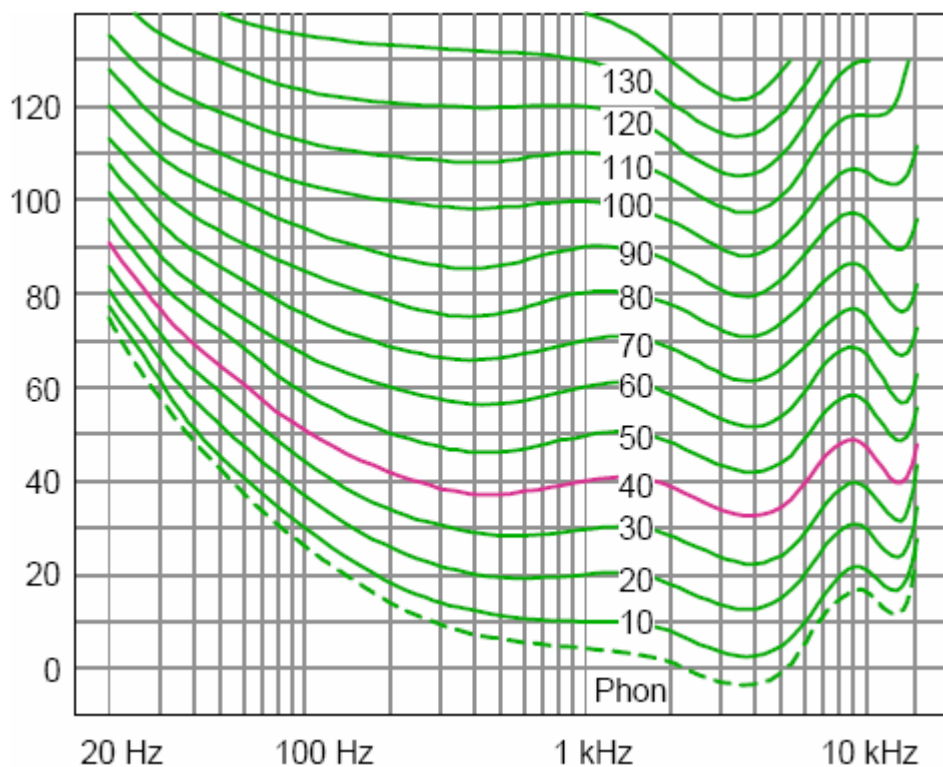
Plus un son sera aigu et plus sa fréquence sera haute. A l'inverse, plus un son sera grave, plus sa fréquence sera basse.

Les fréquences audibles par l'être humain s'étendent de 20 à 20 000 (20 K) Hz. Ces chiffres peuvent varier suivant l'âge et les personnes. Notons également que nos oreilles sont plus sensibles aux fréquences médium et aiguës, correspondant aux fréquences de la voix. En dessous de 20 Hz, il s'agit d'**infrasons** et d'**ultrasons** au dessus de 20 KHz. Ceux-ci ne donnent pas lieu à une sensation sonore.



Courbes de Fletcher et Munson

Les courbes dites de *Fletcher & Munson*, du nom des deux scientifiques qui les ont établies à l'aide de mesures effectuées sur un large panel d'individus, illustrent le fait que la sensibilité de l'oreille n'est pas identique à toutes les fréquences. Ces courbes, aussi appelées « isoniques », représentant la sensibilité moyenne de l'oreille pour une plage de fréquences audibles.



Ces courbes sont paramétrées en *phones*. Par définition, le numéro de chaque courbe (ou niveau en *phones*) est égal à l'intensité correspondant en décibels à une fréquence de 1000 Hz.

Ces courbes indiquent, pour chacune des fréquences du spectre audible, le niveau de pression acoustique (SPL pour Sound Pressure Level) nécessaire à la perception d'une même intensité, d'où le terme « courbe d'égalité (iso) sensation sonore (sonique) ».

Prenons un exemple : si vous prenez comme référence un signal à 1 KHz émis à un niveau de 60 dB, et que vous le comparez à un signal de 40 Hz, ce dernier devra être d'un niveau non plus de 60 dB mais de 80 dB pour que vous ayez une sensation sonore identique. Si vous comparez ensuite ce même signal à 1 KHz avec un autre à 8 KHz, ce dernier devra être émis à un niveau de 70 dB pour que vous ayez une sensation sonore identique pour les deux signaux.

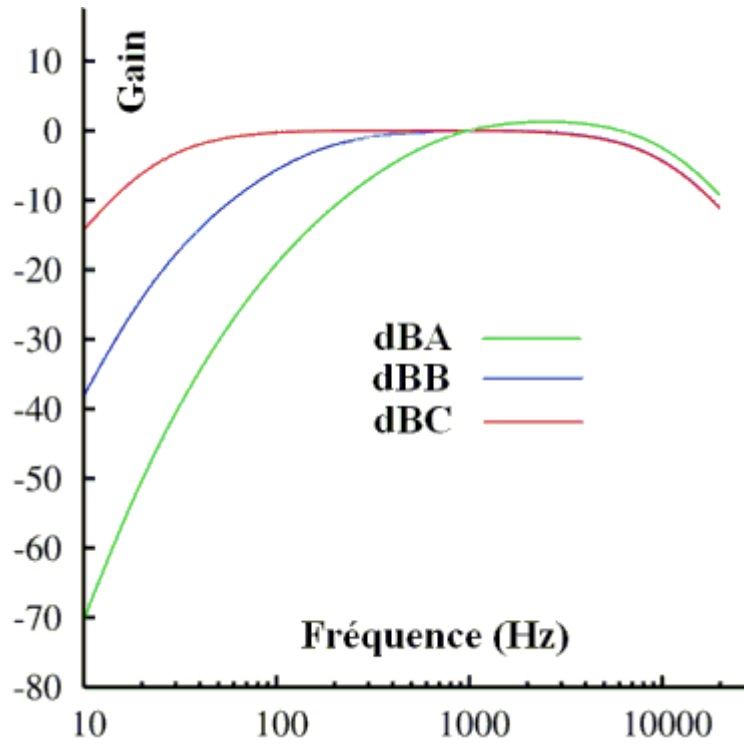
D'une manière générale, l'oreille est moins sensible aux fréquences graves et aiguës qu'aux fréquences médiums, comprises entre 1 KHz et 5 KHz, qui sont naturellement favorisées par notre oreille.

Applications :

Loudness : Le correcteur loudness présent sur quelques amplificateurs Hifi permet à bas niveau d'amplifier les fréquences graves et aiguës afin d'obtenir la sensation d'un son équilibré en niveau sur toute la bande de fréquences audibles.

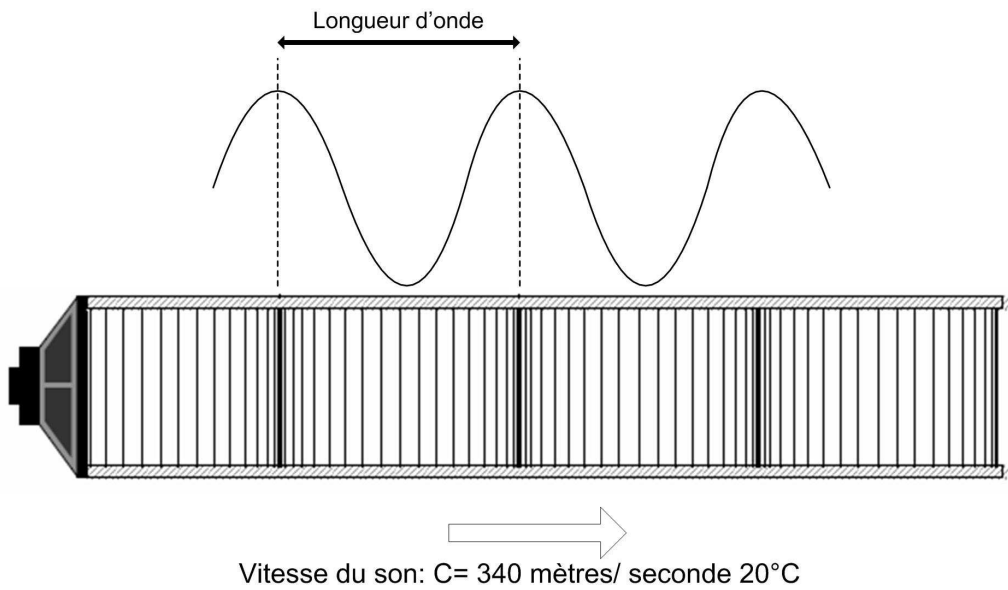
dB(A), dB(B), dB(C) : Afin de faire correspondre aux mieux les mesures, des courbes de pondérations ont été créées. Ces pondérations vont permettre de tenir compte approximativement de la variation de la sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence et de l'intensité.

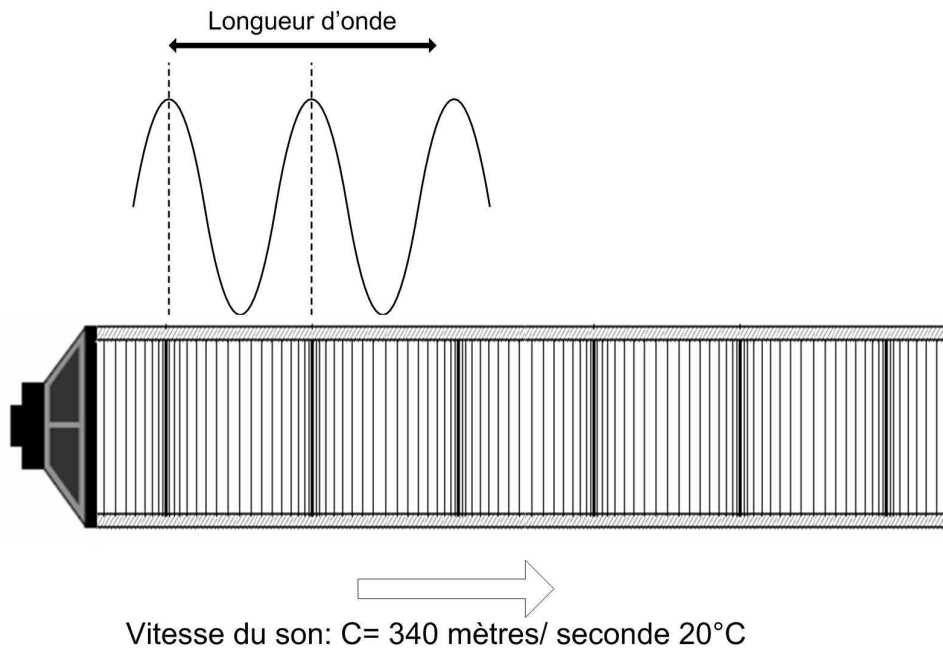
- Pondération A dB(A) : pour des niveaux de 25 à 55 dB
- Pondération B dB(B) : pour des niveaux de 55 à 85 dB
- Pondération C dB(C) : pour des niveaux supérieurs à 85 dB



- Longueur d'onde

La longueur d'onde est la distance parcourue par une onde acoustique pendant une période.





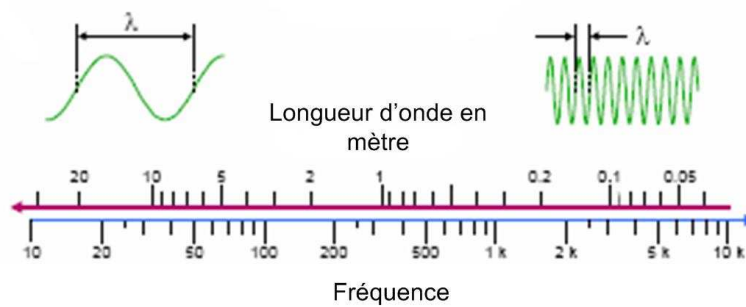
Elle se calcule comme suit :

$$\lambda = C/F$$

Avec λ (Lambda) en mètres
 C (célérité) en m/s (340 m/s pour l'air)
 F la fréquence en Hertz

Fréquence	Longueur d'onde
20 Hz	17 m
100 Hz	3.4 m
500 Hz	0.68 m
1000 Hz	0.34 m
5000 Hz	0.07 m
10 000 Hz	0.03 m
20 000 Hz	0.02 m

On peut remarquer que plus la fréquence augmente, plus la longueur d'onde diminue.

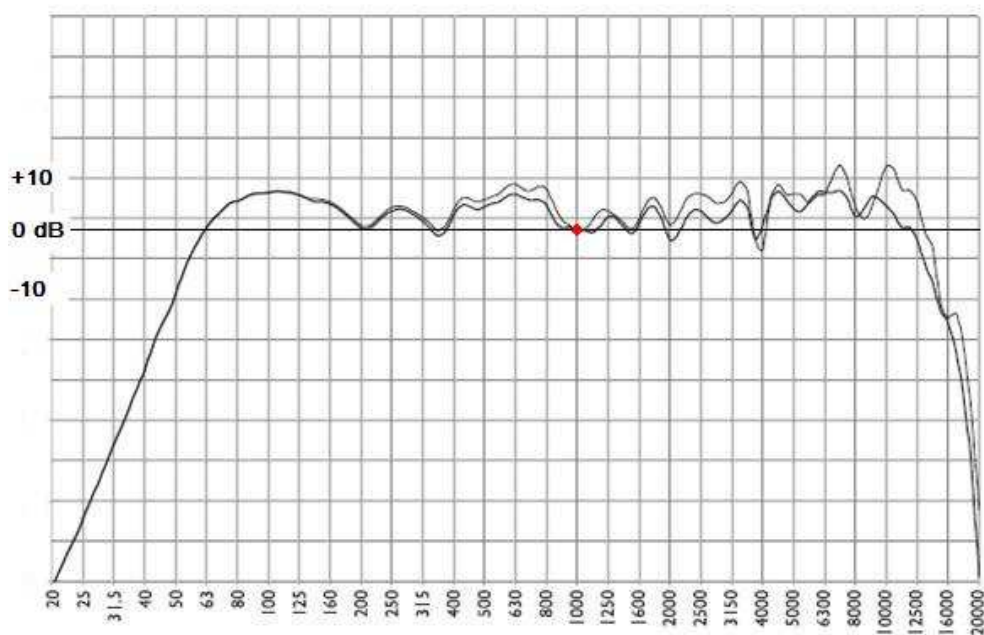


- Réponse en fréquence

La courbe de réponse en fréquence (ou bande passante) correspond à la représentation graphique des diverses fréquences en fonction de leur niveau. Cette courbe indique donc la plage de fréquences que l'enceinte, le micro, l'enregistreur,... est capable de restituer ou de reproduire.

L'idéal théorique en analyse logarithmique se traduit par une courbe horizontale linéaire, permettant une reproduction ou une restitution de toutes les fréquences avec la même intensité. En pratique, il n'en est pas de même.

La courbe de réponse en fréquence est généralement donnée dans un gabarit de +/- 3 dB par rapport à un niveau de référence (généralement 0 dB à 1000 Hz). On peut alors observer sur le graphique de la courbe de réponse en fréquence les différences de niveaux pour chaque fréquence.



Il arrive également souvent que seule la réponse en fréquence (ou bande passante) soit donnée dans les fiches techniques. Il n'y aura alors pas de graphique pour l'illustrer.

On donnera par exemple comme indication : 60 à 18 000 Hz à +/- 3 dB.

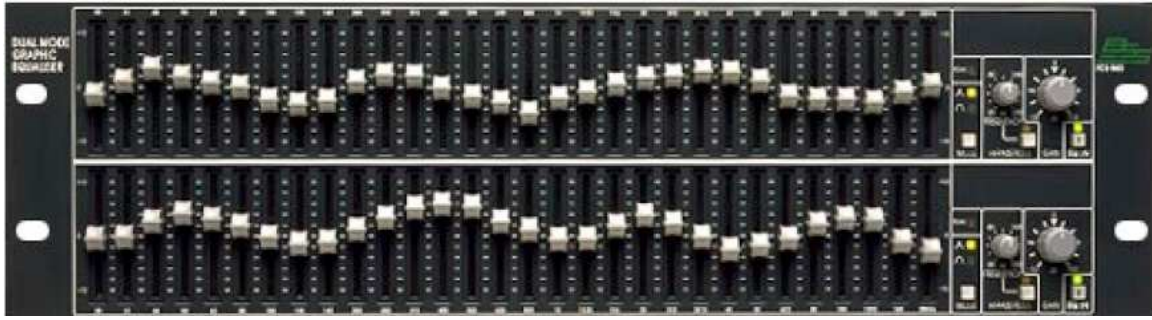
- Octave et tiers d'octave

...↔La1↔La2↔La3↔La4↔La5↔...
 ...↔110 Hz↔220Hz↔440Hz↔880Hz↔1760Hz↔...

Doubler la fréquence revient à monter d'une octave. Diviser la fréquence par deux revient à descendre d'une octave.

Il y aura donc deux octaves entre le La1 (110 Hz) et le La3 (440 Hz).

Cette notion d'octave est très souvent utilisée et principalement le tiers d'octave, notamment dans l'utilisation de filtres tels que les égaliseurs,...

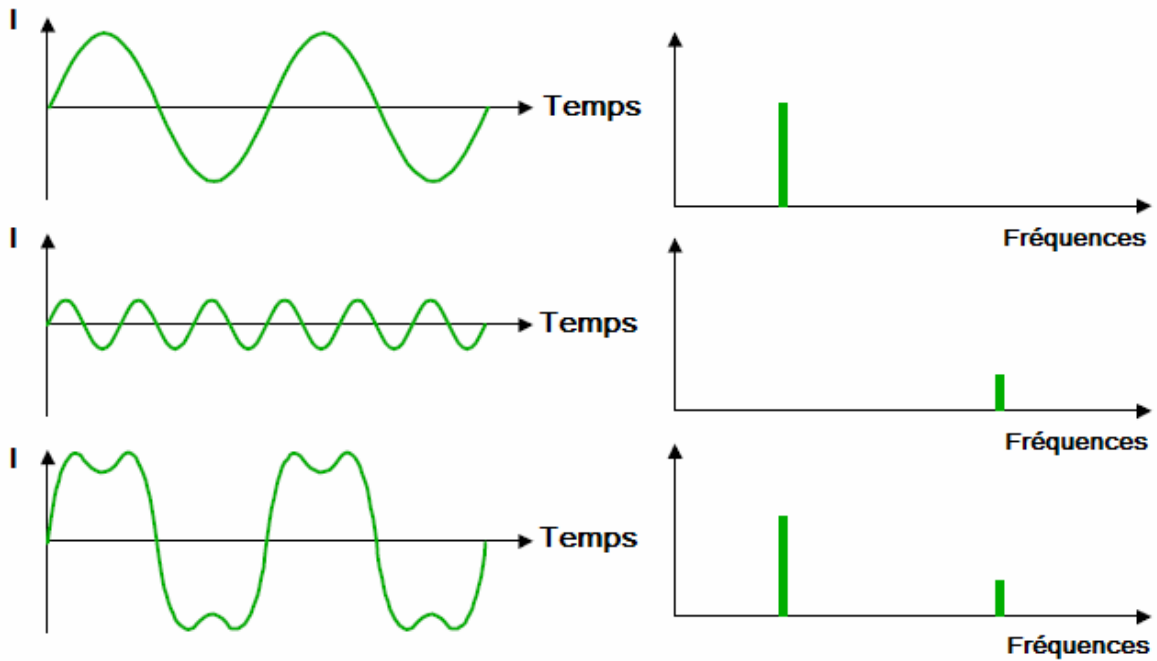


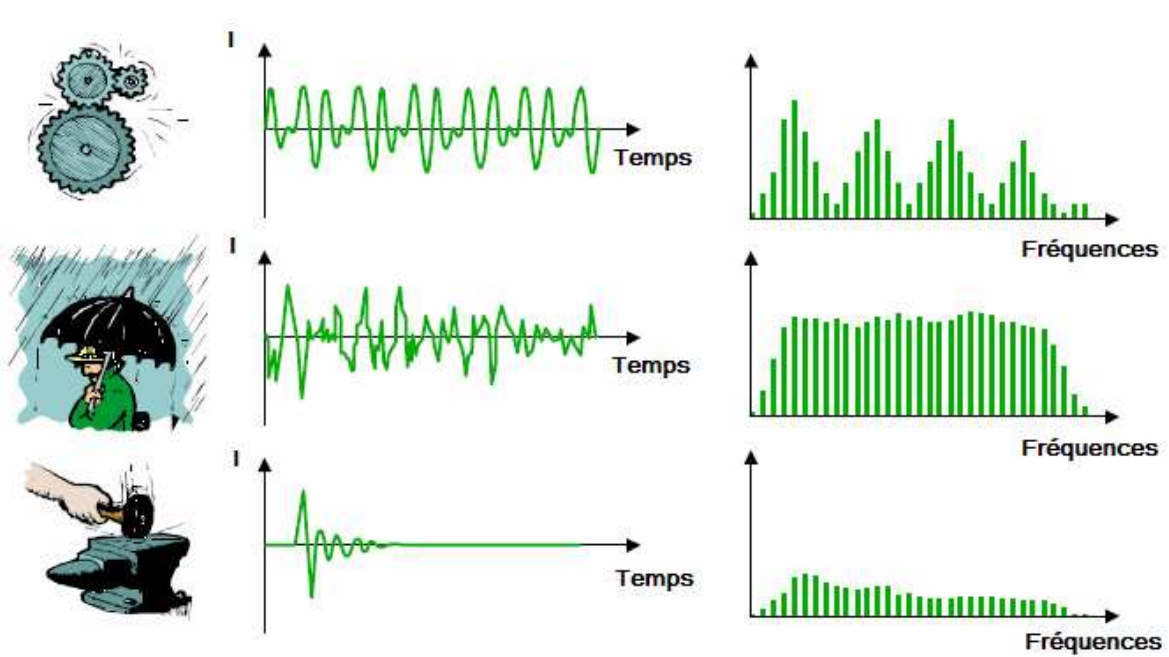
Equaliseur tiers d'octave BSS FCS-960

Les fréquences en tiers d'octave sont alors :

20 - 25 - 31 - 40 - 50 - 63 - 80
 100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 315 - 400 - 500 - 630 - 800
 1000 - 1250 - 1600 - 2000 - 2500 - 3150 - 4000 - 5000 - 6300 - 8000
 10 000 - 12 500 - 16 000 - 20 000

- Analyse fréquentielle

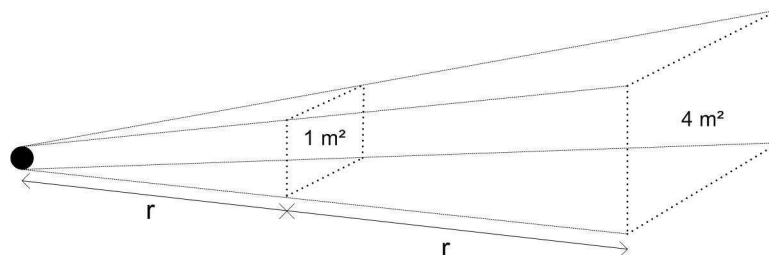




L'intensité sonore

Puissance acoustique

Une source sonore telle une sphère pulsante émet une puissance acoustique (exprimée en watts) dans toutes les directions. Plus on s'éloigne du centre de la sphère, plus la puissance par unité de surface (l'intensité) va diminuer.



Pour une source sphérique, la conséquence est que le niveau sonore va décroître de 6 dB lorsqu'on double la distance.

Intensité acoustique

L'intensité est donc la puissance par unité de surface.

L'intensité acoustique la plus faible perceptible par l'oreille humaine est de l'ordre de 10^{-12} W/m^2 ($1 / 1\,000\,000\,000\,000 \text{ W/m}^2$). Le seuil de douleur est lui fixé à 1 W/m^2 .

Le rapport entre ces deux valeurs est donc de 1 à mille milliards.

Cette échelle n'étant pas la plus pratique à utiliser, c'est le Bel qui a été choisi comme unité de référence. Et afin de mieux détailler l'échelle sonore, c'est le décibel (dB) (soit un dixième de Bel) qui a été finalement utilisé.

Niveau sonore = $10 \log (I / 10^{-12})$
 I = Intensité acoustique à mesurer

Intensité acoustique (W/m²)	Niveau (bel)	Niveau (dB)
1	12	120
10 ⁻²	10	100
10 ⁻⁴	8	80
10 ⁻⁶	6	60
10 ⁻⁸	4	40
10 ⁻¹⁰	2	20
10 ⁻¹²	0	0

En résumé, l'intensité d'un son correspond à son niveau sonore, niveau exprimé en **décibels** (unité que l'on doit à Alexander Graham Bell (1847-1922)).
 Le seuil d'audition de notre oreille se situe à 0 dB, le seuil de douleur aux alentours de 120 dB.

Echelle de bruit

Sans danger pour l'audition :

- 0 dB Seuil d'audition
- 15 dB Bruissement de feuilles
- 20 dB Chuchotement / Jardin paisible
- 25 dB Conversation à voix basse
- 30 dB Appartement dans un quartier tranquille
- 35 dB Bateau à voile / Tic tac de montre
- 40 dB Rue résidentielle
- 50 dB Bruit d'une voiture au ralenti
- 60 dB Grands magasins / Sonnerie de téléphone
- 70 dB Restaurant bruyant
- 85 dB Radio volume à fond / Tondeuse à gazon

Facteur de troubles auditifs :

- 90 dB Rue au trafic intense
- 95 dB Atelier de forgeage / Train passant en gare

Pénible à entendre :

- 100 dB Marteau piqueur / Baladeur à fond
- 105 dB Discothèque / Concert

Difficile à supporter :

- 110 dB Atelier de chaudronnerie

Seuil de la douleur :

120 dB Moteur d'avion
130 dB Décollage d'un avion / Formule 1

Exige une protection auditive :

140 dB Turbo réacteur au banc d'essai
180 dB Fusée Ariane au décollage

L'addition des décibels ne se fait pas de manière arithmétique mais selon une progression logarithmique. Deux sources d'un niveau sonore de 70 dB chacune ne donneront pas au final une source sonore équivalente de 140 dB mais bien de 73 dB. En effet, doubler la source sonore revient à ajouter 3 dB.

Pour une sensation doublée du niveau sonore, il faudra ajouter 10 dB. Ce qui revient à multiplier par 10 la source.

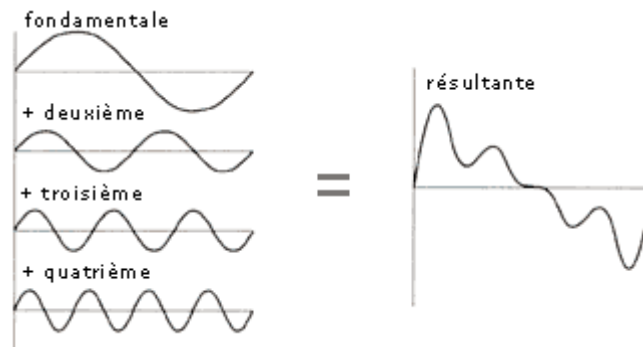
Augmentation du niveau sonore en dB	Changement dans la perception auditive
3	A peine perceptible
5	Différence audible
10	Sensation doublée
15	Large différence
20	Sensation quadruplée

Cependant, l'acoustique ne se limite pas à une mesure "physique" des sons. Le son est pour l'oreille humaine à la fois une notion objective et subjective. L'oreille n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences audibles. En effet, un son de 50 dB et de fréquence 1000 Hz produit une sensation auditive plus forte qu'un son de 50 dB à la fréquence 100 Hz. Pour tenir compte de cette particularité de l'oreille humaine, la mesure de la "force sonore", au sens physiologique, utilise des filtres qui pondèrent les niveaux sonores en fonction des fréquences. La mesure est alors exprimée en décibel A ou dB (A).

Le timbre

Le timbre d'un instrument correspond à sa richesse sonore. Une même note jouée sur deux instruments différents ne donnera pas au final le même son.

Chaque son est formé d'une fréquence **fondamentale** et de fréquences **harmoniques**". On dit qu'un son est riche, agréable à entendre, lorsqu'il contient de nombreuses harmoniques. Un son pauvre en harmoniques paraîtra terne à notre oreille. Un son ne comprenant qu'une seule fréquence est appelé "son pur" (extrêmement rare dans notre environnement quotidien). Les sons musicaux sont des "sons complexes", mélanges de sons graves et aigus. Le son musical est la superposition d'un son fondamental et d'harmoniques dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale.



C'est donc la richesse en harmonique d'un instrument qui détermine le timbre d'un instrument.

Bibliographie, sources :

- Guide pratique de la diffusion sonore, Lionel Haidant, Editions Dunod
- Livrets techniques Brüel et Kjaer
- Livret « Les risques auditifs » publié par le RIF