

La chaîne sonore analogique

Qu'est ce que le son ?	01
Le son est une vibration	01
Les vibrations produisent des ondes sonores	01
La propagation des ondes	02
L'oreille Humaine	03
Le décibel : la mesure du niveau sonore.....	04
Schéma de la chaîne sonore analogique	05
Les microphones	06
Historique	06
Les propriétés du microphone	06
Le microphone dynamique	06
Le microphone statique ou électrostatique	08
Le microphone électret	09
La directivité des microphones	09
Le rapport signal/bruit.....	09
La protection des microphones.....	09
Le haut-parleur	10
Le rôle du haut-parleur	10
Le fonctionnement du HP	11
Qu'est ce qu'une fréquence ?	12
L'oreille humaine	13
Les bandes de fréquences	14
La bande passante	15

Qu'est ce que le son ?

Le son est une vibration :

Le son est une énergie produite par la vibration d'un objet : l'énergie acoustique.

Exemple : vibration des cordes vocales humaines, d'une corde de guitare, du ronronnement d'un moteur de voiture, sifflement du vent à travers une fenêtre...

Les instruments de musique utilisent cet effet vibratoire. Dans un instrument à percussion, comme un tambour ou des cymbales, une fine membrane de plastique ou de métal tendue vibre et produit un son lorsqu'on la frappe. Dans un violon et dans les autres instruments à cordes, le son est créé par le frottement d'un archet faisant vibrer les cordes. La caisse de résonance d'un violon ou d'une guitare vibre à la fréquence des notes et les amplifie. La forme de la caisse permet de s'assurer qu'elle résonne à la plupart des fréquences pouvant être produites.

Les vibrations produisent des ondes sonores :

C'est la source qui est à l'origine de la vibration. Posez la main sur votre gorge en émettant un son, posez la sur un haut-parleur : les objets qui émettent du son sont des objets vibrants. Ensuite cette vibration se transmet par l'intermédiaire du milieu (l'air, l'eau, un métal...) sous forme d'ondes.

Exemple : Un caillou jeté dans l'eau produit des vagues que l'on peut assimiler à des ondes.

A partir de la source, le point de chute du caillou dans l'eau, les ondes se diffusent dans toutes les directions.

La propagation des ondes :

La propagation du son n'est possible que dans un milieu dit « élastique », c'est à dire que le son a besoin d'un vecteur de transmission pour se diffuser. La propagation peut se faire dans l'air, dans un liquide ou dans un milieu solide.

L'onde sonore se propage en ligne dans un milieu homogène.

En l'absence d'un milieu de propagation, elles ne peuvent pas se déplacer, c'est pourquoi les sons ne se propagent pas dans le vide.

On appelle célérité (c), la vitesse d'un son. Cette vitesse dépend du milieu dans lequel le son se propage :

- Air sec (20°C) : $c = 340\text{m/s}$
- Eau : $c = 1460\text{m/s}$
- Béton : $c = 3160\text{m/s}$
- Verre : $c = 5000\text{m/s}$
- Acier : $c = 5000\text{m/s}$

Plus le milieu dans lequel se propage le son est dense, plus sa célérité est élevée.

Bon vecteurs de transmissions : Fer, cuivre, aluminium, or...

Mauvais vecteurs de transmissions : Mousse, tissus, éponge, plastique...

La réverbération :

Lorsque des ondes sonores rencontrent un obstacle, elles s'y réfléchissent. Dans une très grande pièce comme une cathédrale, les murs et le plafond réverbèrent le son ; le même son se répète donc avec un léger décalage, ce dernier étant fonction de la distance parcourue lorsque la réverbération intervient.

Exemple : Rebonds d'une balle sur les murs

Les ondes sonores se comportent comme une balle que lancée qui rebondit sur les murs.

Dans les salles de concert, les surfaces sont conçues dans un matériau qui absorbe le son afin de réduire les phénomènes de réverbération à leur minimum et de permettre à toute l'assistance d'entendre la musique en même temps.

Echo, diffraction, réfraction :

Si la surface réfléchissante est importante et qu'elle se trouve à plus de 30 mètres environ de la source sonore, la réflexion du son constitue **l'écho**.

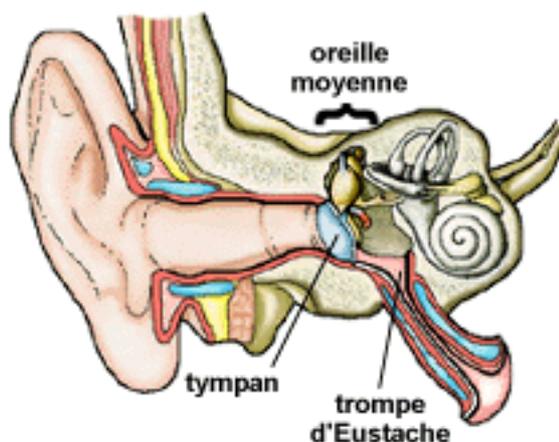
Exemple : Quand l'on pousse un cri face à une paroi rocheuse, le cri se répète plusieurs fois.

Lorsque la surface est plus petite ou qu'il s'agit de l'angle d'une maison, par exemple, les ondes sonores contournent l'obstacle et se dispersent dans toutes les directions, l'effet obtenu étant appelé la **diffraction**. Ce phénomène explique comment le son circule dans les coins.

La direction des ondes sonores varie également lorsque le son se propage d'un milieu à un autre, de densités différentes : c'est ce que l'on appelle la **réfraction**.

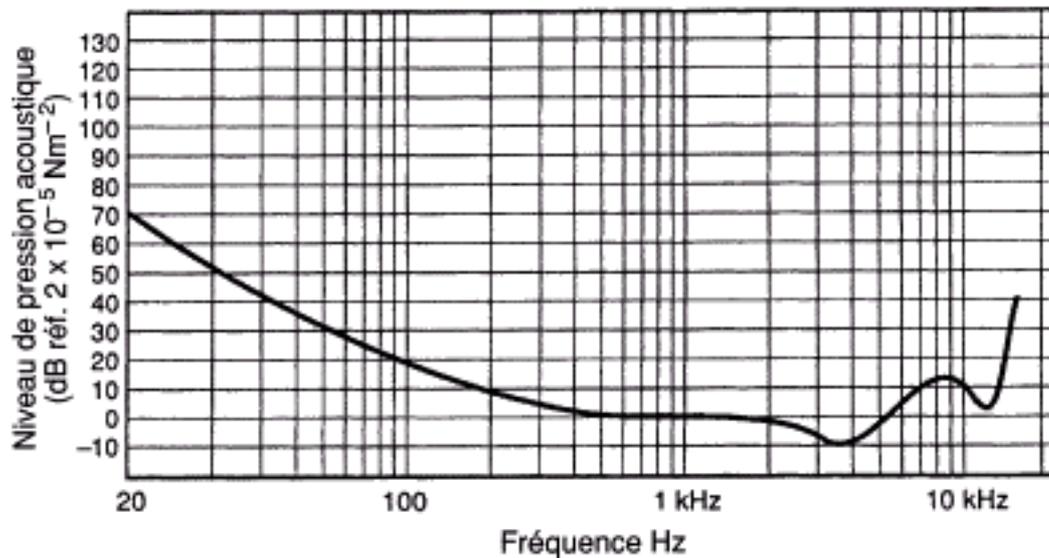
L'oreille humaine :

Quand l'oreille humaine perçoit un son, c'est parce que les particules d'air immédiatement limitrophes de ses tympans vibrent. Les ondes qui atteignent l'oreille mettent en vibration le système auditif. Ces vibrations sont ensuite converties sous forme de signal électrique qui va être analysé par le cerveau.



L'oreille humaine est considérée comme le juge de la qualité d'un son. On peut en effet défendre l'idée que seuls comptent les distorsions et les bruits perceptibles par l'oreille. La figure suivante montre une courbe typique du seuil de sensibilité de l'oreille aux niveaux bas, indiquant le niveau de pression acoustique (SPL, Sound

Pressure Level) requis pour qu'un son soit tout juste audible.



Il faut noter que l'oreille est plus sensible au milieu du spectre audible, autour de 4kHz, et moins sensible dans les basses fréquences et les très hautes fréquences. Cette courbe est généralement appelée " champ audible minimum " ou encore " seuil de l'audition ". Elle présente un niveau de pression acoustique de 0dB (réf. 20 Pa) à 1kHz. Il est toutefois important de se rappeler que le seuil d'audition de l'oreille humaine n'est pas une valeur absolue mais une valeur statistique. En des termes plus simples : certains ont des oreilles qui entendront des niveaux bien plus bas que ceux indiqués sur le graphique précédent.

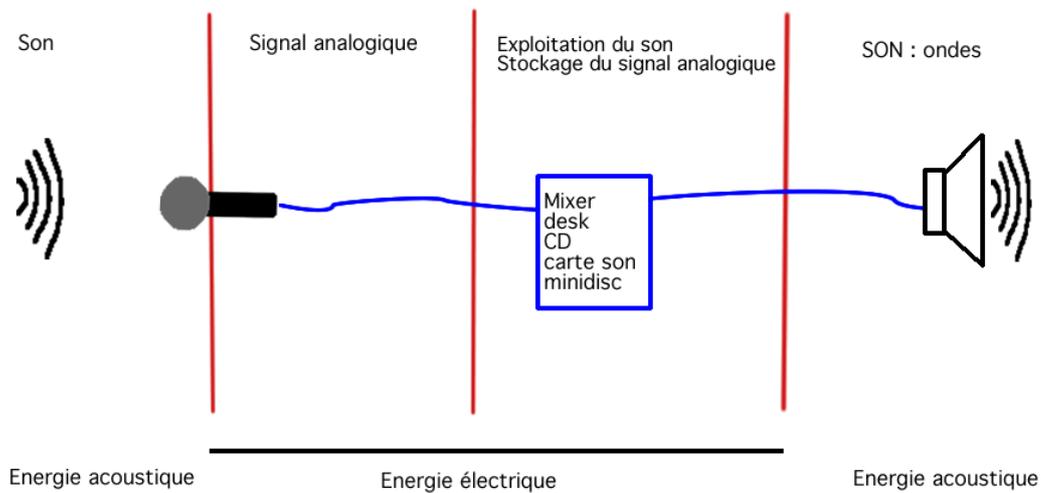
Le décibel : La mesure du niveau sonore

C'est une unité égale à 1/10ème de bel, elle sert en acoustique à définir une échelle d'intensité sonore. On a donné ce nom à cette unité en hommage à Alexander Graham Bell.

Symbole (dB).

- Seuil de la douleur : 120 dB
- Marteau piqueur : 100 dB
- Véhicule sans échappement : 80 dB
- foule de grande ville : 60 dB
- Conversation normale : 40 dB
- Respiration humaine : 20 dB
- Seuil d'audition : 0 dB

Schéma de la chaîne sonore analogique



Le son, l'énergie acoustique est transformée par le microphone en énergie électrique. L'énergie électrique est ensuite exploitable par les consoles de mixage, deck, ampli, carte son, minidisc.... L'énergie électrique est ensuite transformée en énergie acoustique par les hauts parleur.

Exemple :

L'humain : L'humain est une chaîne sonore.

- 2 micros = 2 oreilles

- 1 Haut Parleur = 1 bouche

Les convertisseurs sont le cerveau et les cordes vocales.

Les microphones

Historique

Un instituteur pour sourds-muets, Graham Bell, fut le véritable père du téléphone. Il réalisa, en 1876, une capsule à induction utilisable comme microphone et comme écouteur. La qualité pour la parole était parfaitement admissible. En 1878 Hughes construisit le premier microphone à charbon. La sensibilité de cet élément, sinon sa qualité, donna à l'invention de Bell le coup de pouce nécessaire à l'extension foudroyante du téléphone.

Les propriétés du microphone

Un micro convertit un signal sonore en un signal électrique.

Un micro convertit une énergie acoustique en un signal électrique proportionnel.

Le microphone est un convertisseur, encore appelé transducteur.

L'avantage d'un signal électrique par rapport à un signal acoustique est qu'il est stockable et exploitable par les appareils audio.

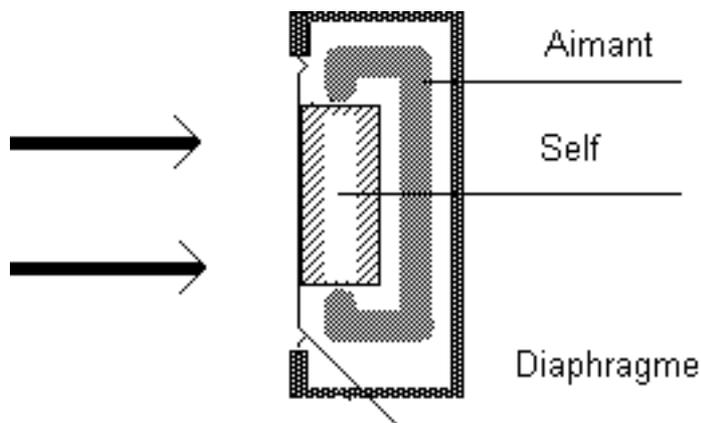
Le signal électrique de sortie d'un microphone résultant de la conversion est de très faible puissance.

Pour qu'il soit exploitable par les appareils audio, il va falloir l'amplifier.

Le microphone est caractérisé par les propriétés suivantes :

- Sensibilité et résistance interne
- Courbe de réponse en fréquence
- Diagramme directionnel

Le microphone dynamique



Les ondes sonores créent une pression sur le diaphragme qui fait se mouvoir la bobine mobile (self) dans le champ magnétique de l'aimant et l'on recueille ainsi une tension électrique au extrémité de la bobine.

Pression acoustique = membrane vibre = champ magnétique = signal électrique

Ces micros sont certainement les plus populaires dans le monde de la radio.

Intrinsèquement un micro dynamique est à basse impédance et ils sont pourvus d'un transformateur en sortie de manière à atteindre les fatidiques 50 kW bien connus. Ces micros sont réputés pour être fidèles. Ce sont des micros qui passent difficilement les aiguës (>15 kHz) car la bobine a de l'inertie. Vous remarquerez au passage qu'en matière de diffusion radiophonique, on n'en demande pas plus (100-15000 Hz)

Avantages :

Les micros dynamiques ont de nombreux avantages par rapport à d'autres types de micros:

- Ils sont relativement peu chers à fabriquer et très robustes, ce qui veut dire qu'on les utilise aussi bien sur scène, en studio et en reportage.
- Ils sont également à même de tolérer des niveaux de pression acoustique extrêmement élevés
- Ils n'ont pas besoin d'alimentation, le micro lui-même ne contenant aucun circuit électronique.

Inconvénients :

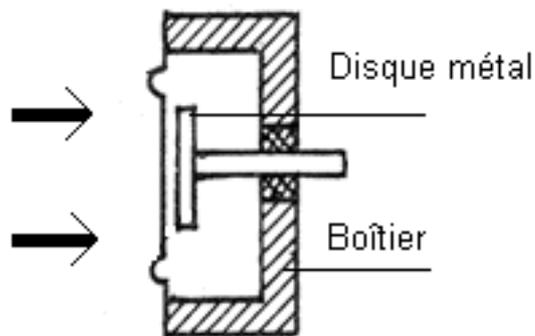
- Faible sensibilité aux hautes fréquences.

Le mouvement du diaphragme est, jusqu'à un certain point, freiné par la masse de la bobine qui lui est attachée. Plus le diaphragme essaie de se mouvoir rapidement, plus l'inertie de la bobine le contrarie, entraînant ainsi une perte de sensibilité aux hautes fréquences. En pratique, un micro dynamique conventionnel est conçu pour fonctionner efficacement jusqu'à 16 kHz, fréquence au-delà de laquelle sa sensibilité aura tendance à chuter de manière significative.

- Le signal électrique délivré en sortie est faible, ce qui nécessite une amplification importante.

Si les sons que l'on doit capter sont modérément forts et proches du micro, cela ne constitue pas un problème, mais des sons faibles et/ou distants exigeront souvent une amplification telle que le résultat deviendra trop bruyant. C'est pour cette raison que le micro dynamique est rarement employé pour enregistrer des instruments comme la guitare acoustique, par exemple, car il est difficile de positionner le micro suffisamment près de l'instrument pour capter un niveau de son raisonnable sans compromettre le rendu de son timbre global.

Le microphone statique ou électrostatique



Ce micro est avant tout formé d'un condensateur, d'où son nom. Les ondes de pression font se mouvoir une palette qui constitue une armature du condensateur. Cette variation mécanique se traduit par une variation de capacité. Il faut naturellement alimenter les plaques du condensateur. Ces micros ont une courbe de réponse plate.

Avantages :

- Très bonne réponse en fréquence.
L'avantage primordial du système électrostatique est sans doute que son diaphragme en plastique métallisé est très mince (quelques microns d'épaisseur) et par conséquent très léger. Un moindre poids signifie moins d'inertie, ce qui permet au diaphragme de répondre à de plus hautes fréquences que le micro dynamique et, comme le diaphragme est plus facile à mettre en mouvement, le système en devient d'autant plus efficace.
- Avec l'aide d'un préamplificateur incorporé de haute qualité, les micros à condensateur sont donc les meilleurs du point de vue bruit et possèdent, par rapport à n'importe quel autre micro de studio, la sensibilité la plus élevée aux hautes fréquences. Leur réponse excède en effet facilement l'étendue de l'audition humaine, cela aux deux extrémités - grave et aiguë - du spectre audio.
- Niveau de sortie plus élevé que le micro dynamique
- Forte sensibilité aux différences de pression acoustique

Inconvénients :

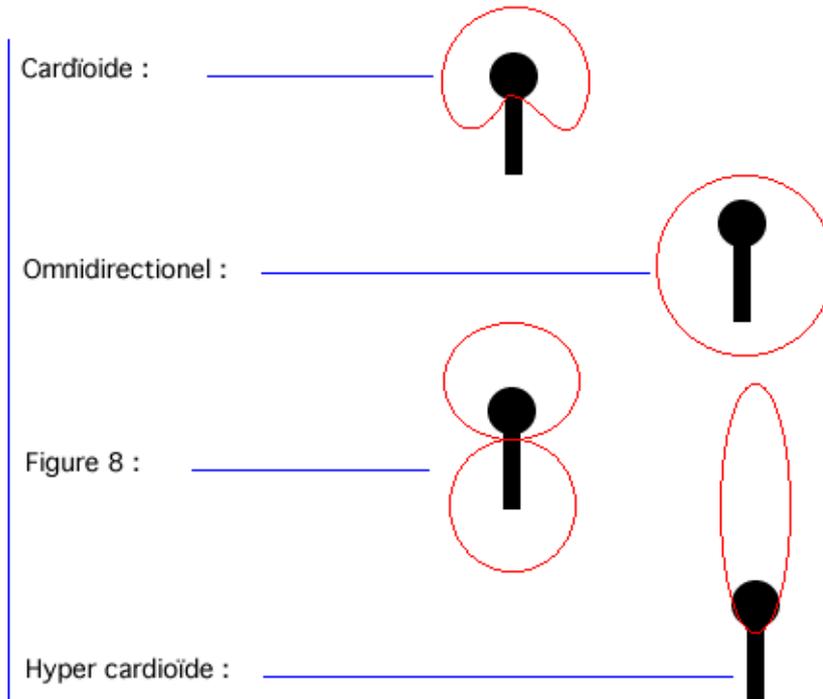
- Sensibles à l'humidité.
Les micros électrostatiques courants sont suffisamment robustes pour être utilisés tant sur scène qu'en studio, mais beaucoup souffrent encore de pertes de sensibilité lorsqu'ils sont employés dans des atmosphères très humides. Même dans un studio équipé de conditionnement d'air, l'humidité due à l'haleine d'un chanteur peut constituer un problème.
- Nécessite une alimentation phantom de 48V provenant de la console ou via une alimentation séparée
- Technologie plus complexe, donc plus cher que le microphone dynamique.

Le microphone électret

Plus ou moins basés sur le même principe que les microphones électrostatiques, la pastille électret est chargée en permanence et fonctionne comme un condensateur. Les charges sont permanentes et liées à la fabrication ce qui explique qu'un électret se détériore très tranquillement dans le temps. L'avantage est qu'il est moins cher.

La directivité des microphones

En fonction de leur construction, les microphones offrent une certaine directivité, c'est souvent voulu, c'est parfois contraint. Voici les formes les plus courantes :



Le rapport signal/bruit

La qualité du microphone dépend de son rapport signal / bruit :

Exemple : $X = \text{signal}$ et $Y = \text{bruit}$
 $X/Y = 100\text{db} / 4\text{db} = 25$
 $100\text{db} / 1,1\text{db} = 90,90$

Plus ce rapport est élevé, plus le micro est de bonne qualité.

La protection des microphones : La bonnette

- La mousse permet de protéger le micro des postillons.
- La membrane, le diaphragme de la capsule micro doit vibrer. Les postillons en séchant solidifient la membrane et l'empêchent de vibrer correctement.
- Certaines bonnettes filtrent le son pour atténuer les ssss à 8000hz (7000hz-9000hz). Le deesser est un filtre qui permet d'atténuer (4-5 db) les ssss.
- La bonnette permet aussi d'atténuer les Pops provoqués par la pression acoustique du souffle résultant de la prononciation de certains mots.

Le Haut –Parleur



Le rôle du haut-parleur

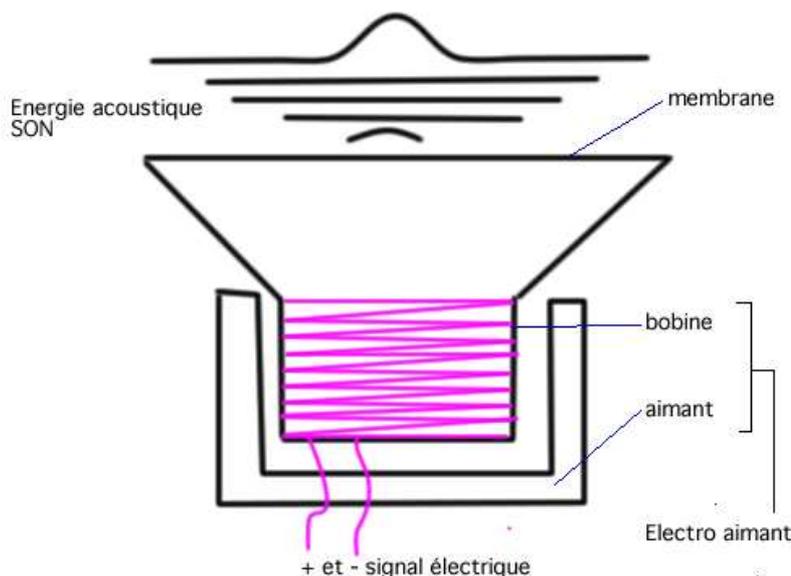
Le haut-parleur, (que l'on notera HP pour simplifier et que l'on trouve sous LS loud speaker dans la littérature anglo-saxonne) est un ensemble qui transforme de l'énergie électrique en énergie mécanique et plus précisément en énergie acoustique.

Le fonctionnement du HP

Le haut-parleur fonctionne comme un microphone, mais à l'inverse.

Le HP est un système électrique couplé à un système électro-acoustique. On voit la constitution générale sur l'image . On remarque que le HP est composé de trois parties essentielles qui sont :

- La membrane
- La bobine mobile
- L'aimant permanent



- La membrane, c'est elle qui en se déplaçant alternativement d'avant en arrière va créer les pressions dynamiques qui vont mettre en mouvement l'air. Ces surpressions que l'on appelle des ondes sonores vont venir jusqu'à nos oreilles.
- La bobine mobile est solidaire mécaniquement de la membrane, c'est son moteur. Cette bobine, sous l'action du courant de l'amplificateur BF va de déplacer d'avant en arrière.
- L'aimant permanent est comme son nom l'indique un aimant puissant (à ce propos, ne stockez pas vos supports magnétiques à proximité des enceintes de votre chaîne HI-FI). Il a une mission claire et bien définie: Créer un champ magnétique permanent.

Le signal qui sort de la console vers le haut parleur est très faible, un amplificateur de puissance est nécessaire.

Il est important de choisir un ampli en accord avec le haut parleur.

Si le signal électrique est trop fort = enceinte excentrée.

La puissance de l'amplificateur doit être plus faible que la puissance du haut parleur.

Les deux éléments de la chaîne sonore les plus importants sont le microphone et le HP.

En radio, la chaîne sonore est particulière. Le récepteur est chez l'auditeur. On ne maîtrise pas la qualité de ce récepteur.

Il faut donc pour assurer une bonne qualité de réception chez l'auditeur diminuer les basses fréquences.

Les petites radios ne sont pas adaptées pour les basses fréquences.

Effet Larsen :

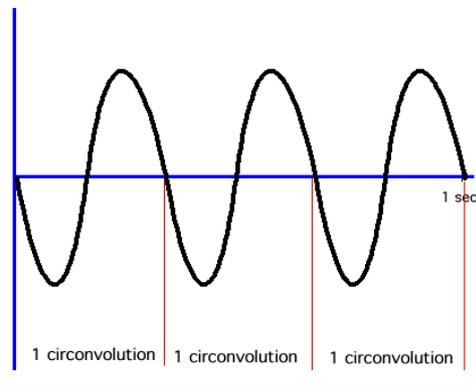
Le larsen est une boucle sans fin de la chaîne sonore.

Il y a un seuil de pression acoustique qu'il ne faut pas dépasser pour éviter le Larsen.

Qu'est ce qu'une fréquence ?

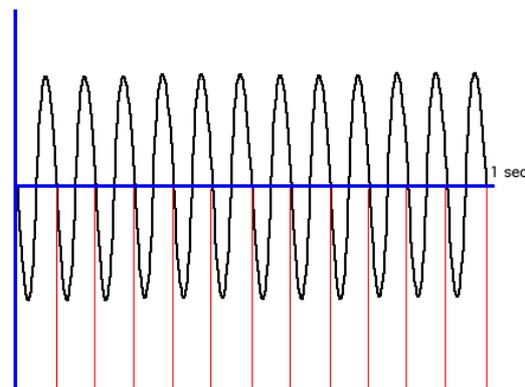
La fréquence est le nombre de circonvolutions qu'un signal analogique va effectuer en une seconde. Plus la fréquence est élevée, plus la tonalité que nous percevons sera élevée. Elle s'exprime en Hertz ($\text{Hz} = 1/\text{s}$).

La fréquence = 3hz



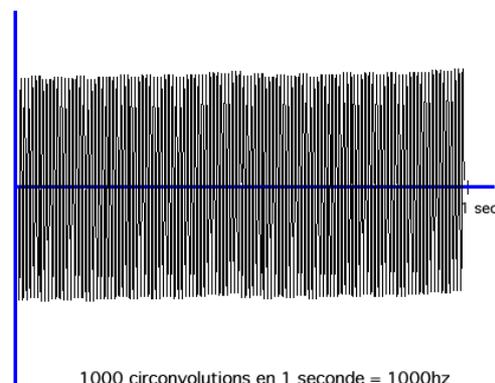
3 circonvolutions en 1 seconde = 3hz

La fréquence = 12hz



12 circonvolutions en 1 seconde = 12hz

La fréquence = 1000hz = 1khz



1000 circonvolutions en 1 seconde = 1000hz

**Une petite fréquence génère un son grave.
Une grande fréquence génère un son aigue.**

L'oreille humaine

La gamme de fréquence perceptible par l'oreille humaine se situe entre 20hz et 20000hz soit entre 20hz et 20khz.

Cette limite supérieure diminue à mesure que l'âge augmente. Les adultes ne dépassent pas 15.000 Hz et les personnes âgées 12.000 Hz. Ces limites s'appliquent naturellement aux personnes qui ont une "bonne oreille".

1.9. Le diagramme de Fletcher et Munson

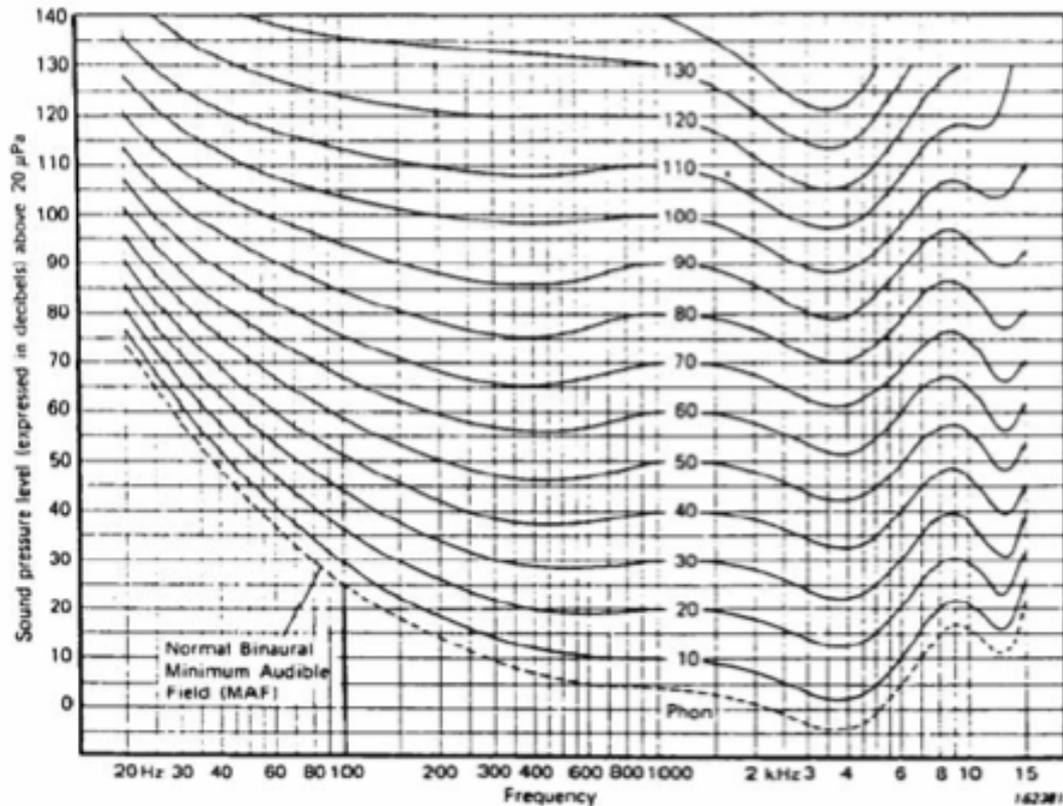


Diagramme de Fletcher et Munson

Ce graphique tient compte de notre variation de sensibilité à différentes fréquences. On en déduit qu'au-dessous de 1000 Hz, le seuil acoustique se situe toujours plus haut (c-à-d que l'on est moins sensible à un niveau sonore donné dans ces fréquences). Par exemple, à 600 Hz, on entend à partir de 5 dB, mais à 100 Hz, on n'entend qu'à partir de 25 dB!

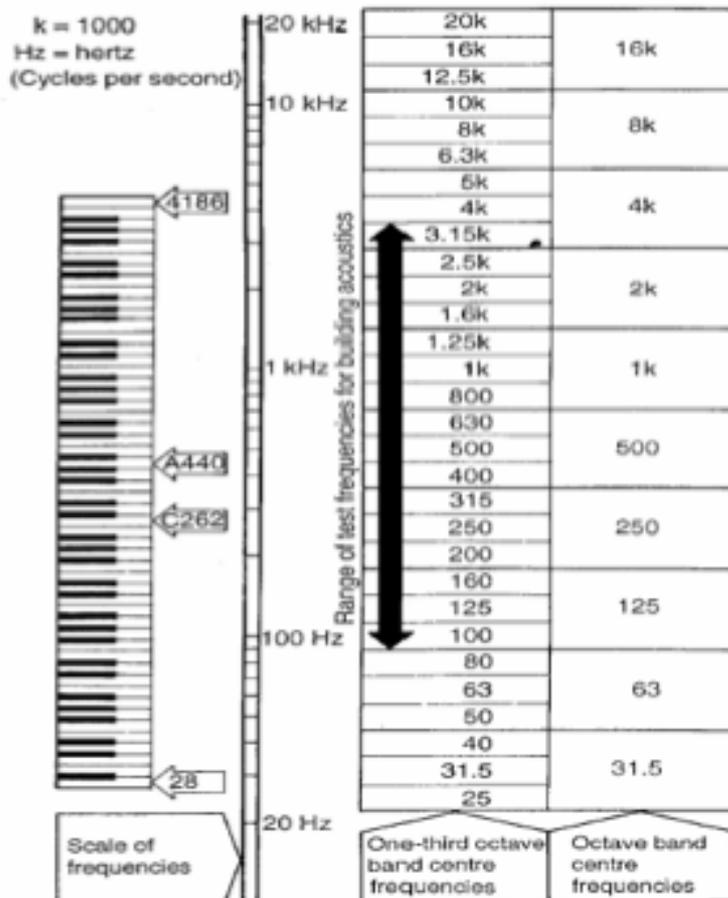
L'ouïe humaine est plus sensible aux hautes fréquences qu'aux basses fréquences. Lorsque les fréquences diminuent, les isophones se rapprochent de plus en plus. Cela veut dire que, pour un saut égal de niveau sonore, on percevra, aux fréquences plus basses, une plus grande différence qu'aux fréquences plus hautes. On déduit aussi qu'on est le plus sensible entre 600 Hz et 4000 Hz. Conclusion: Ce n'est qu'à partir des niveaux sonores plus élevés qu'on perçoit les basses fréquences, mais on sera plus sensible à des variations dans ce domaine.

La voie humaine se situe entre 200hz et 8000hz.

Les chiens communiquent avec des fréquences très hautes, alors que les baleines, elles, communiquent avec des très basses fréquences.

Les bandes de fréquences

20hz-80hz : Infra basse
 80hz-200hz : Les basses
 200hz-2000hz : Bas médium
 2000hz-5000hz : haut médium
 5000hz-12000hz : Aigus
 12000-18000 : extrêmes aigus



Correspondance bandes tiers d'octaves et bandes d'octaves

Sur le schéma l'on peut remarquer que chaque note de musique à sa fréquence propre.

Le « la3 » ou « A3 » qui est la note de référence de tout instrument a une fréquence de 440hz.

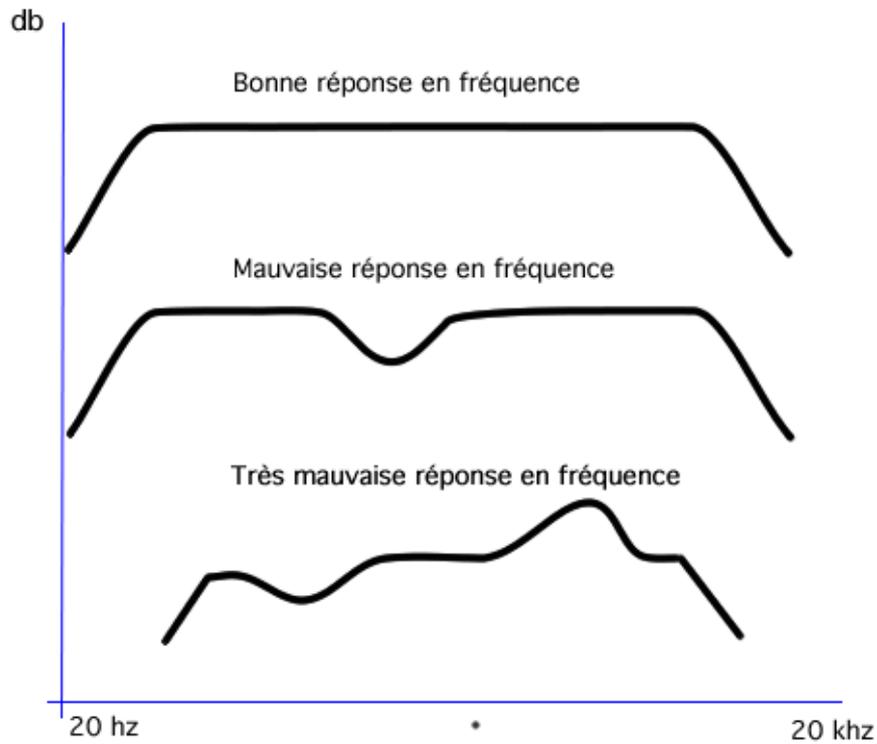
Le « do3 » ou « C3 » a une fréquence de 262hz.

N'importe quel signal électrique est génère une fréquence de 60hz.

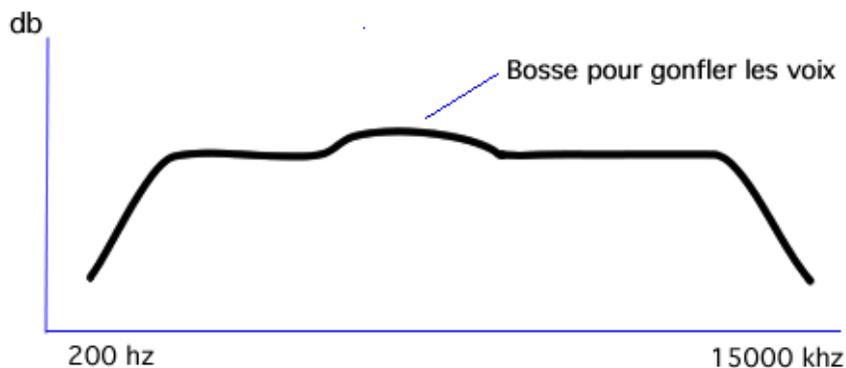
La bande passante

La bande passante est la réponse en fréquence d'un appareil.

BANDE PASSANTE : COURBE DE REPONSE EN FREQUENCE



BANDE PASSANTE IDEALE POUR LA FM :



Les hauts parleurs des auditeurs radio ont une petite bande passante, si la fréquence est trop faible, les HP vont saturer.

Les constructeurs de matériel audio professionnel fournissent la courbe de réponse en fréquence de chaque appareil sur les notices techniques.