

Thème 3 : Ondes et signaux

Chapitre 1 : Le son

I - La propagation du son

1) Le son se propage-t-il dans le vide ?

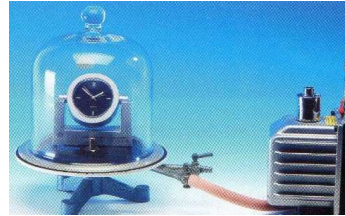
Plaçons un réveil en train de sonner sous une cloche remplie d'air : on l'entend parfaitement. Faisons progressivement le vide dans la cloche, le son s'affaiblit jusqu'à devenir pratiquement inaudible.

Le son ne se propage pas dans le vide.

Vidéo :



Thème 3 - Chapitre 1 - Propagation des ondes sonores.mp4



2) Valeur de la vitesse de propagation du son

Le son nécessite un milieu matériel (solide, liquide ou gaz) pour se propager. Sa vitesse de propagation dépend du milieu et de la température.

Elle est de l'ordre de $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans l'air à $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

La vitesse du son dans un milieu matériel varie avec la densité du milieu.

En effet, plus le milieu est dense, plus la vitesse du son augmente.

En général, on a : $v_{\text{gaz}} < v_{\text{liquide}} < v_{\text{solide}}$.

Quelques exemples :

Gaz	Liquide	Solide
$v_{\text{air}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_{\text{eau}} = 1\,500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_{\text{sable sec}} = 10 \text{ à } 300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
$v_{\text{hélium}} = 970 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_{\text{glycérine}} = 2\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_{\text{plomb}} = 1\,200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
$v_{\text{dihydrogène}} = 1\,320 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$		$v_{\text{PVC rigide}} = 2\,400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{béton}} = 3\,100 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{glace}} = 3\,200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{bois}} = 3\,800 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{titane}} = 5\,000 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{verre}} = 5\,300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{acier}} = 5\,600 \text{ à } 5\,900 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{granit}} = 6\,200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
		$v_{\text{péridotite}} = 7\,700 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Remarque 1 :

Pour un gaz, plus la température augmente, plus la vitesse du son augmente.

Remarque 2 :

Le mur du son est un phénomène physique aérodynamique caractérisé par l'atteinte d'une vitesse au moins égale à celle de la vitesse du son, soit $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ou $1\,224 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ (dans l'air à $20 \text{ }^\circ\text{C}$) ou *Mach* 1, et provoquant une onde de choc sous forme de « bang ».



Dans le référentiel terrestre, les valeurs de vitesse sont le plus souvent exprimées en $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Il est nécessaire d'utiliser une seule et même unité pour comparer différentes vitesses :

Exemple	Marcheur	Voiture	TGV	Son dans l'air	Lumière dans l'air
Valeur de la vitesse	$5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $= 1,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$130 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $= 36 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$300 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ $= 83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

3) Le son comme transmission de l'information

Depuis toujours, l'Homme s'est efforcé de communiquer à distance avec ses semblables. Très rudimentaire à l'origine, les moyens de communication sont devenus de plus en plus performants.

Un type de signal est le **signal sonore** émis par une source sonore (voix humaine, tintement d'une cloche, etc.).

Dans le cas des signaux sonores, le signal se propage à la vitesse du son.

La réception du signal peut être directe : l'**oreille** est un récepteur direct des signaux sonores tout comme l'**œil** est le récepteur direct des signaux visuels.

4) Récapitulatif

Le son a besoin d'un milieu matériel pour se propager et est utilisé pour communiquer, échanger des informations.

La vitesse de propagation dans l'air est constante : elle vaut environ $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à la température de $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

II - Signal sonore périodique

1) Qu'est-ce qu'un phénomène périodique ?

Un phénomène périodique est un phénomène qui se reproduit identiquement à lui-même à intervalles de temps égaux.

Exemples :

- le cycle diurne (levers et couchers du Soleil) ;
- les saisons ;
- les cycles d'un ordinateur ;
- un rythme cardiaque, régulier, caractérisé par un certain nombre de pulsations par minutes.

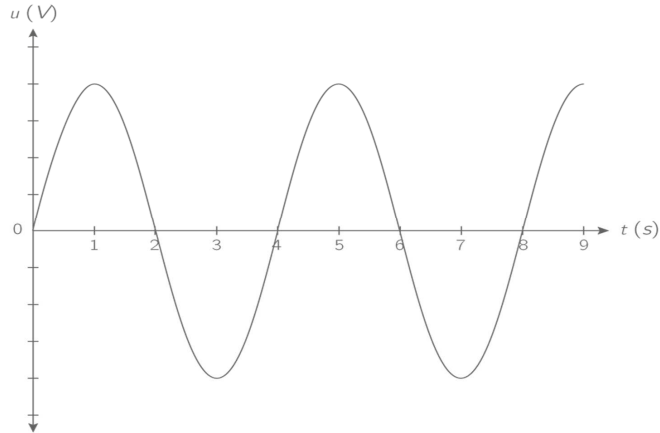
2) Caractéristiques d'un signal périodique

a) Signal périodique

On parle de signal périodique lorsque l'on peut mesurer une grandeur physique (tension, intensité, etc.) liée à un phénomène périodique. Cette fonction est alors une grandeur périodique du temps.

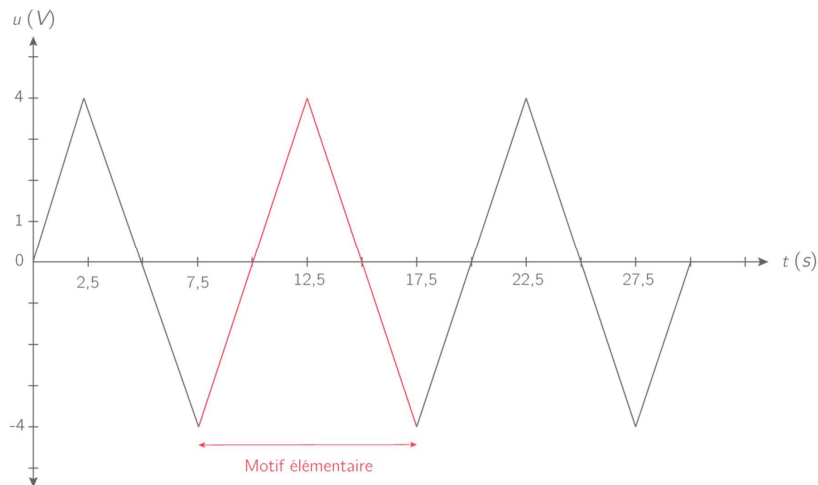
Exemple :

Un signal périodique sinusoïdal d'une tension alternative :



b) Période T et fréquence f

Le graphe ci-dessous est formé de la répétition d'un « motif élémentaire » qui se reproduit identiquement à lui-même tout au long de la courbe : la tension est dite périodique.



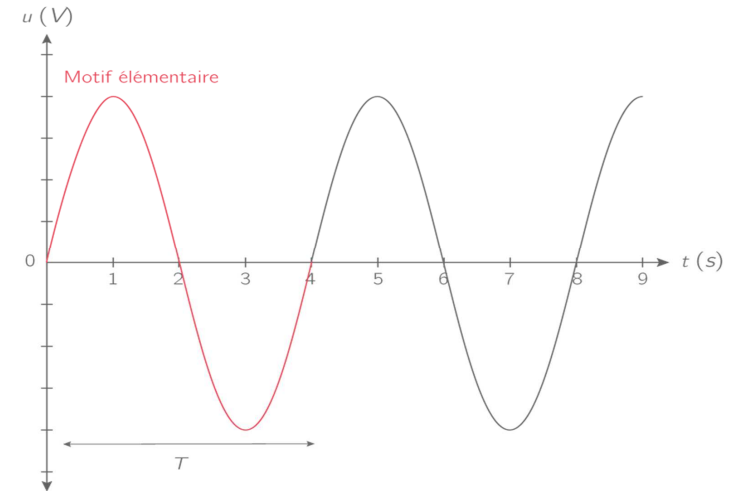
Un phénomène périodique se répète régulièrement. Cette répétition dans le temps est caractérisée par une durée, appelée période.

La période notée T d'un signal périodique est la plus petite durée au bout de laquelle la grandeur reprend la même valeur et s'exprime en seconde.

La période d'un signal périodique peut être déterminée graphiquement : elle correspond à la durée du motif élémentaire.

Exemple :

La période de cette tension alternative est $T = 4,0$ s.



Toutefois, on préfère souvent utiliser une autre grandeur temporelle pour caractériser un phénomène périodique, la fréquence.

La fréquence notée f ou ν (nu) d'un signal périodique est le nombre de fois où le phénomène se reproduit à l'identique pendant 1 seconde.

La fréquence est donc l'inverse de la période temporelle, et s'exprime en hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$) :

$$f = \frac{1}{T} \quad \left| \begin{array}{l} T \text{ en seconde (s)} \\ f \text{ en hertz (Hz} = \text{s}^{-1}\text{)} \end{array} \right.$$

Exemple 1 :

La fréquence de la tension alternative de période $T = 4,0$ s est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4,0} = 0,25 \text{ Hz.}$$

Exemple 2 :

La fréquence d'une tension alternative de période $T = 250$ ms est :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{250 \times 10^{-3}} = 4,0 \text{ Hz.}$$

Exemple 3 :

Dans le domaine de la santé, certaines fréquences (cardiaque, respiratoire, etc.) sont données en battement par minute (*bpm*).

Si le cœur d'un patient bat à la fréquence $f = 1,1 \text{ Hz}$ est : $f = 60 \times 1,1 = 66 \text{ bpm}$.

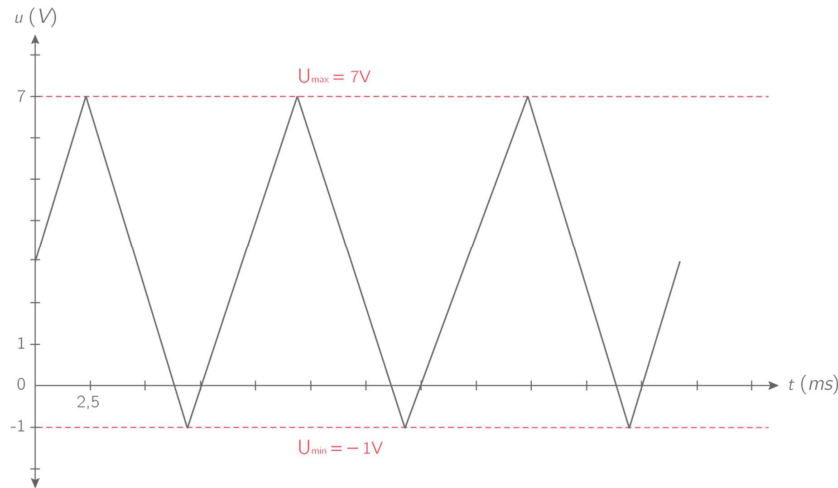
c) Tension maximale et tension minimale

Durant un intervalle de période T , un signal périodique, passe par sa valeur maximale y_{max} et par sa valeur minimale y_{min} .

Exemple :

Pour une tension périodique $u(t)$, la tension maximale $U_{max} = 7 \text{ V}$ désigne la valeur la plus élevée prise par $u(t)$ au cours du temps.

La tension minimale $U_{min} = -1 \text{ V}$ est sa valeur la plus faible.

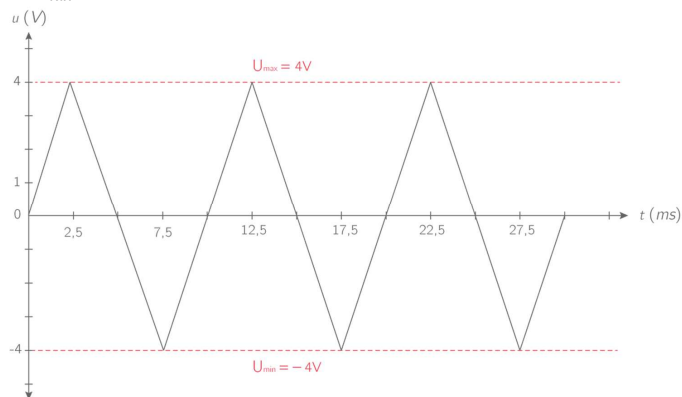


On désigne également par amplitude la valeur maximale prise par le signal.

Exemple 1 :

L'amplitude A d'un signal périodique symétrique est égale à sa valeur maximale :

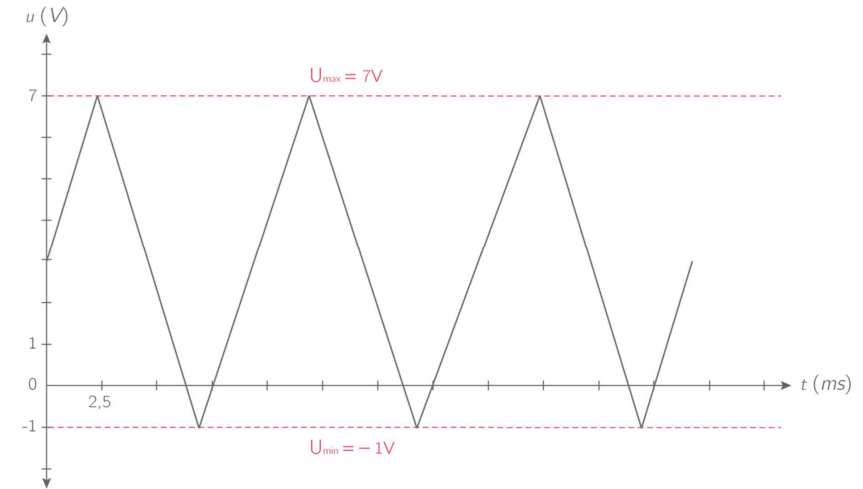
$$A = U_{max} = 4 \text{ V}.$$



Exemple 2 :

L'amplitude A d'un signal périodique NON symétrique est égale à la différence entre ses valeurs maximale et minimale, appelée aussi amplitude crête-crête :

$$A = U_{max} - U_{min} = 7 - (-1) = 8 \text{ V}.$$



d) Utilisation d'un oscilloscope

Le corps humain émet plusieurs types de signaux électriques qui peuvent être mesurés par des capteurs et exploités après amplification. Les signaux les plus souvent analysés sont :

- **l'électrocardiogramme ou ECG**, qui mesure l'activité électrique du cœur et qui permet ainsi de détecter des troubles du rythme cardiaque, comme la tachycardie (accélération du rythme cardiaque), la bradycardie (ralentissement du rythme cardiaque) ou la fibrillation (désorganisation du rythme cardiaque) ;
- **l'électroencéphalogramme ou EEG**, qui mesure l'activité électrique du cerveau et qui permet de localiser des zones du cerveau à l'origine de certains dysfonctionnements du système nerveux comme l'épilepsie ;
- **l'électromyogramme ou EMG**, qui mesure l'activité électrique des muscles et qui permet ainsi de détecter les atteintes nerveuses ou musculaires.

Un oscilloscope est un instrument de mesure permettant le plus souvent de visualiser une tension électrique en fonction du temps.

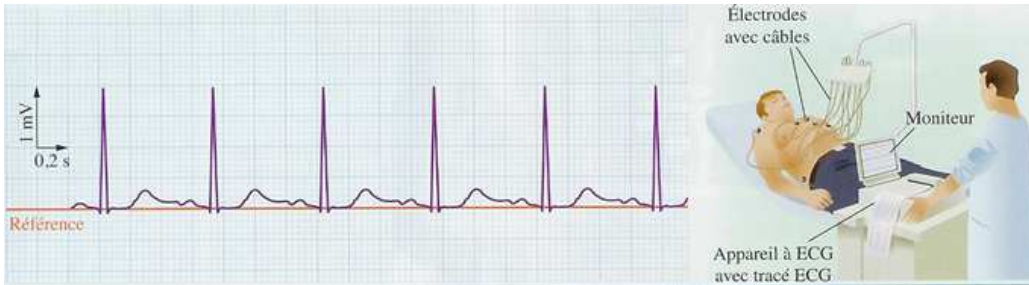
La courbe affichée sur l'écran constitue un oscillogramme.

L'oscillogramme et la connaissance des réglages de l'oscilloscope (base de temps en s/div et sensibilité verticale en V/div) permettent de mesurer la période et des valeurs de tension d'un signal périodique.

Exemple :

D'après l'oscillogramme obtenu suite à l'électrocardiogramme on a mesuré :

- $T = 0,2 \times 3,7 = 0,74 \text{ s}$ et $f = 60 \times \frac{1}{0,74} \approx 81 \text{ bpm}$;
- $U_{max} = 1 \times 10^{-3} \times 2 = 2 \times 10^{-3} \text{ V}$.



3) Récapitulatif

Un phénomène est périodique si la grandeur physique qui le décrit, généralement appelé signal, qui se reproduit, est identique à lui-même à intervalles de temps égaux.

La période, notée T et exprimée en secondes (s), d'un motif élémentaire est le plus petit intervalle de temps au bout duquel ce motif, ici la tension, reprend la même valeur en variant dans le même sens.

La valeur maximale d'une tension alternative U_{max} , exprimée en volt (V), est sa valeur aux « sommets » de la courbe.

Toutes les valeurs prises par une tension alternative sont comprises entre U_{max} et U_{min} .

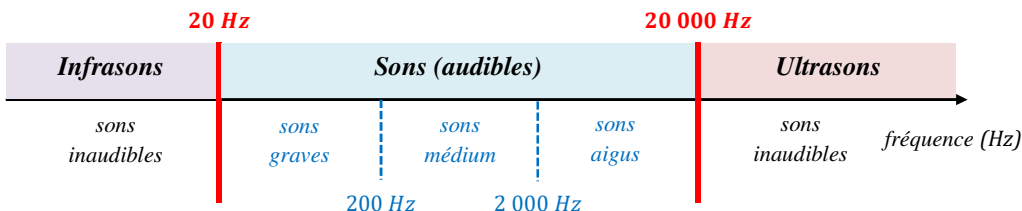
III - Les ondes sonores

1) Analyse d'un son

a) Domaine des sons audibles

La perception des sons dépend de leur nature, autrement dit de leur fréquence exprimée en Hertz (Hz).

L'audition humaine se situe dans la gamme de fréquences 20 Hz – 20 000 Hz .



Par rapport à l'audition humaine, nous qualifions d'**infrasons** les sons dont la fréquence est **inférieure à 20 Hz**.

Nous ne pouvons pas les entendre, mais certains animaux (la taupe ou l'éléphant par exemple) sont capables de les capter. Ils peuvent ainsi capter avant nous les tremblements de terre de quelques Hertz.

De même, nous qualifions d'**ultrasons**, les sons inaudibles pour nous et dont la fréquence est **supérieure à 20 kHz**. Un chien ou un chat entendent jusqu'à 40 kHz et une chauve-souris ou un dauphin, jusqu'à 160 kHz .

Le qualificatif de son « audible » ou « inaudible » est en considérant l'oreille humaine comme référence.

Remarque :

L'audition est le sens qui vieillit le plus précocement. Ce phénomène est inéluctable et notre ouïe s'affaiblit progressivement à partir de 30 *ans*.

Sans forcément nous en apercevoir, nous perdons la perception des sons aigus qui pourtant sont nécessaires à une bonne compréhension des mots.

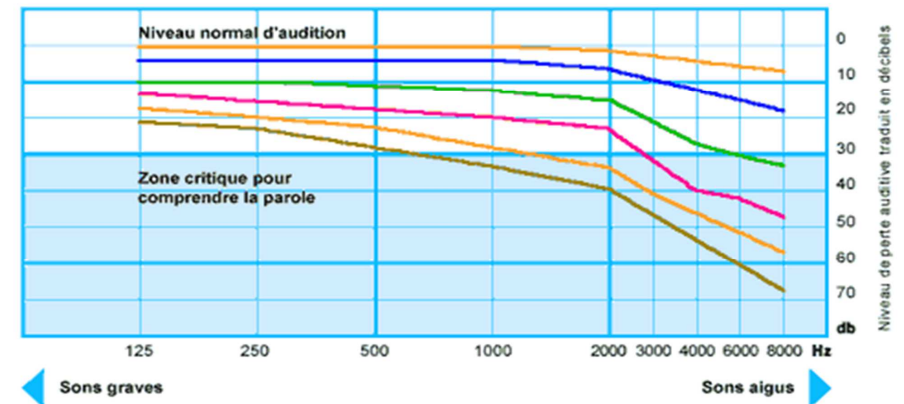
Ce phénomène naturel est lié à l'âge s'appelle la presbyacousie, il devient socialement gênant à partir de 50 – 55 *ans*.

La presbyacousie représente environ 90 % des cas de perte auditive et se corrige facilement grâce à une aide auditive.

On estime aujourd'hui que 60 % des plus de 60 *ans* ont des troubles de l'audition alors que 20 % à peine sont équipés d'aides auditives.

Perte de l'audition en fonction de l'âge

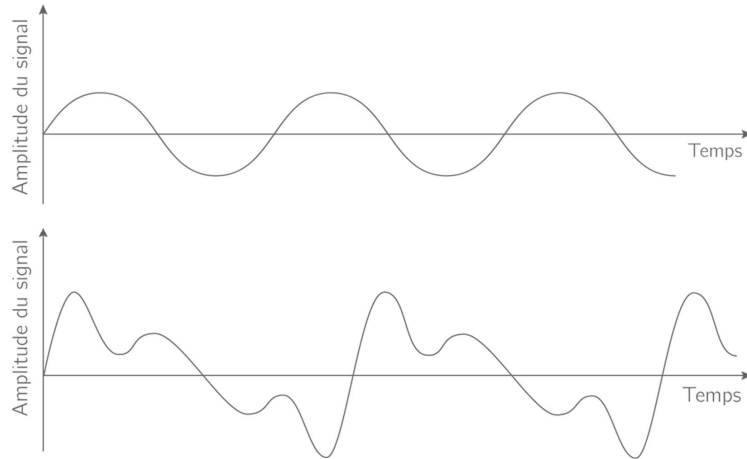
20 ans, 30 ans, 50 ans, 60 ans, 70 ans, 80 ans



b) Analyse spectrale d'un son

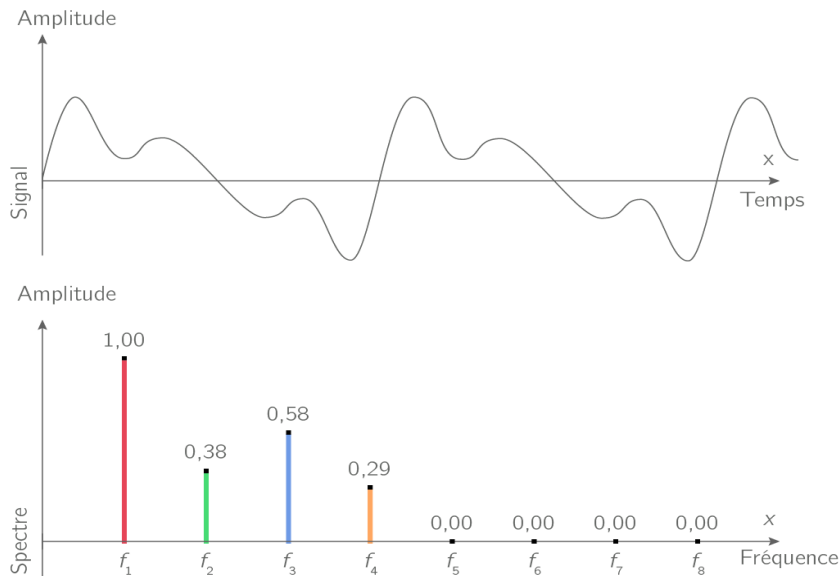
Les sons produits par une source peuvent être de deux types :

- le son est dit pur si l'onde sonore est une fonction sinusoïdale ;
- le son est dit complexe si l'onde sonore est périodique mais non sinusoïdale.



Pour définir la composition d'un son complexe, on réalise l'analyse spectrale de ce son.

L'analyse spectrale, aussi appelée spectre en fréquence, est la représentation graphique de l'amplitude relative d'un signal quelconque en fonction de la fréquence :



c) Récapitulatif

Dans le domaine des fréquences audibles, les fréquences faibles correspondent aux sons graves et les fréquences élevées, aux sons aigus.

Une analyse spectrale est la représentation de l'amplitude relative d'un signal en fonction de la fréquence.

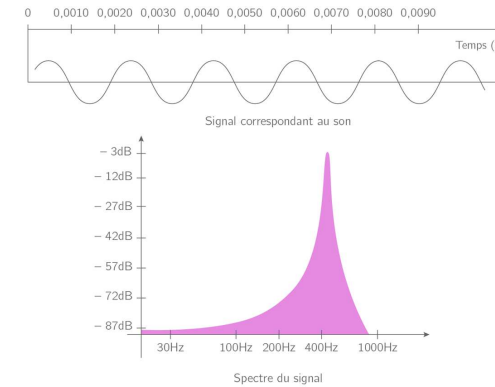
2) Hauteur et timbre d'un son

a) Hauteur d'un son

La hauteur d'un son est la fréquence du signal correspondant à l'onde, appelée fréquence fondamentale ou simplement fondamental.

Exemple :

Signal et spectre d'un son correspondant à la note la_3 émis par un diapason. Ce son est un son pur dont la hauteur est de 440 Hz.



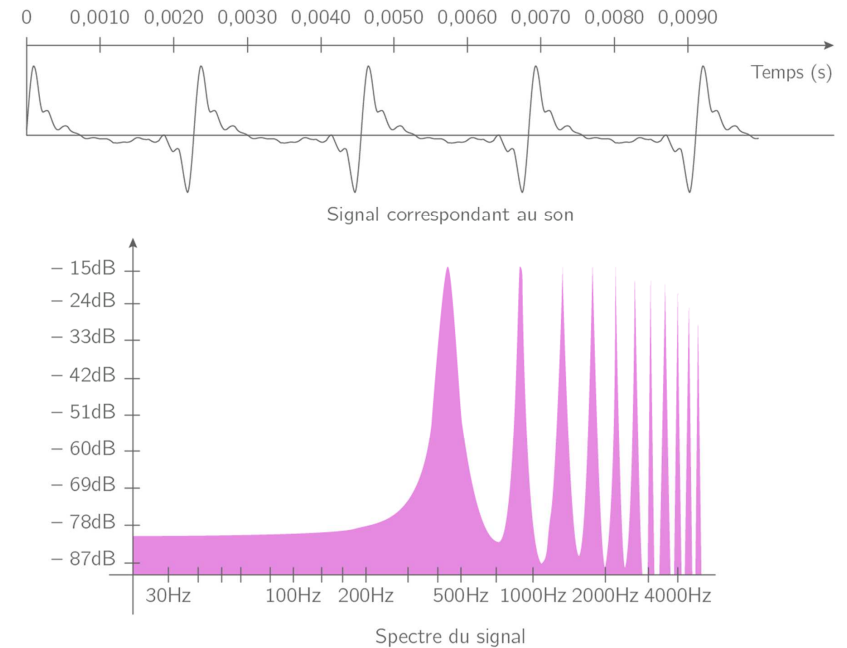
b) Timbre d'un son

Le timbre d'un son est défini par la présence et amplitude relative des différents pics du spectre en fréquence de ce son appelés harmoniques.

Les harmoniques sont toutes des multiples du fondamental.

Ainsi, la fréquence f_n d'une harmonique de rang n est : $f_n = n \times f_1$.

Exemple :



Signal et spectre d'un son correspondant à la note la_3 émis par un instrument. La hauteur de ce son est toujours de 440 Hz (puisque la fréquence fondamentale vaut 440 Hz) mais le spectre en fréquence contient de nombreuses harmoniques définissant le timbre du son complexe émis par l'instrument. Puisque la fréquence fondamentale d'un son correspondant à la note la_3 est $f_1 = 440$ Hz, les fréquences harmoniques sont : $f_2 = 2 \times f_1 = 2 \times 440 = 880$ Hz, $f_3 = 3 \times f_1 = 3 \times 440 = 1\,320$ Hz etc.

c) Récapitulatif

La hauteur d'un son est la fréquence du signal correspondant, appelée fréquence fondamentale ou fondamental.

Le timbre d'un son dépend de la présence et de l'importance, dans le spectre en fréquence, de pics appelés harmoniques et à son évolution au cours du temps (attaque, durée des harmoniques et extinction du son).

3) Niveau d'intensité sonore

a) Intensité sonore

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques : elles transportent de l'énergie et le transfert d'une partie de cette énergie à notre système auditif est responsable de l'audition du son.

Le niveau sonore d'un son se mesure à l'aide d'un sonomètre et s'exprime en décibels (dB).

Les sons trop intenses peuvent provoquer des sensations douloureuses et surtout une surdité précoce.

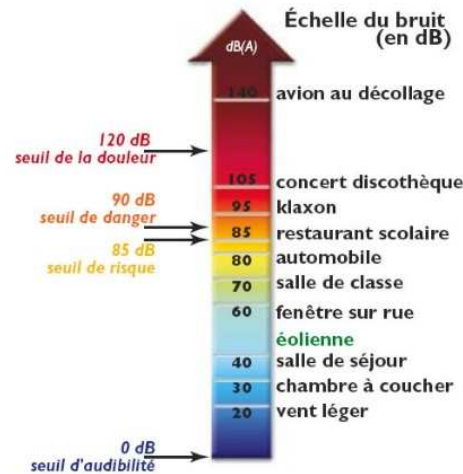
Il faut être conscient de ces dangers qui atteignent surtout les jeunes : réduire le son des baladeurs, éviter la proximité des haut-parleurs lors d'un concert ou dans les discothèques, et même parfois porter des bouchons d'oreilles son de sages précautions pour préserver son potentiel auditif.

Le son entre dans notre oreille qui le transforme en message nerveux. Le nerf auditif conduit ce message vers le cerveau où différentes structures l'interprètent et initient une perception : j'entends !

Vidéo :

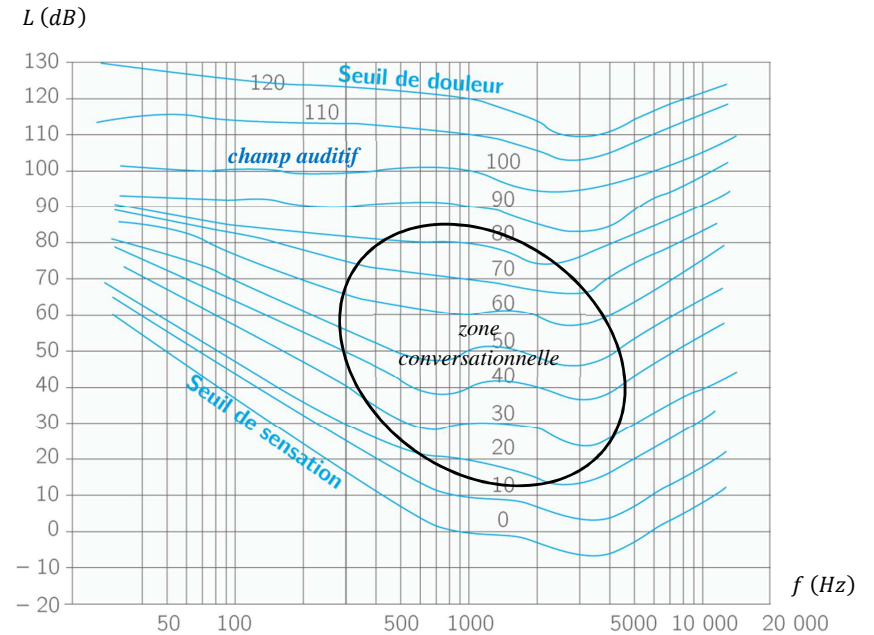


Thème 3 - Chapitre 1 - Oreille-Cerveau.mp4



Remarque :

La perception des sons dépend du niveau sonore mais aussi de leurs fréquences exprimées en Hertz (Hz).



b) Récapitulatif

La perception des sons dépend de leur fréquence exprimée en Hertz (Hz) mais aussi de l'intensité sonore exprimée en décibels (dB).

L'exposition sonore tient compte du niveau d'intensité sonore mais aussi de la durée d'exposition auxquels l'oreille est soumise.

Une exposition sonore trop élevée peut entraîner une perte temporaire ou permanente d'audition, la présence d'acouphènes, etc.

4) Une originalité sonore : l'effet Doppler

Lorsqu'une source sonore est en mouvement, le son qu'elle génère varie en fonction de sa vitesse et du sens de son déplacement, c'est ce qu'on appelle **l'effet Doppler**.

Par exemple, lorsqu'une ambulance se rapproche, la sirène est aiguë. A l'inverse, lorsqu'elle s'éloigne elle devient plus grave.

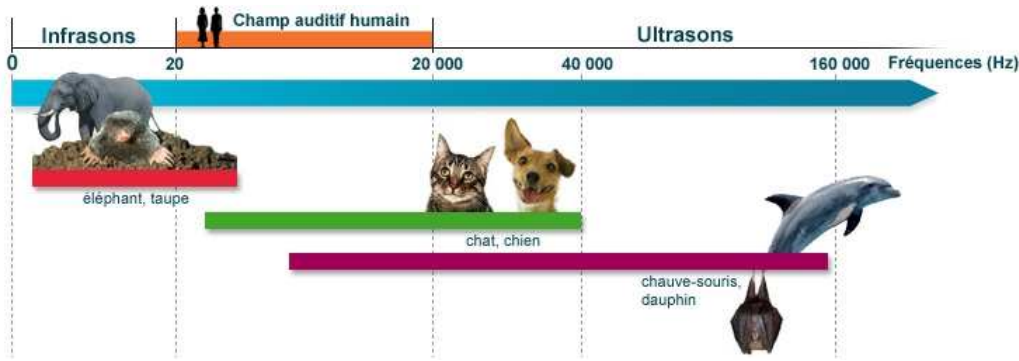
Vidéo :



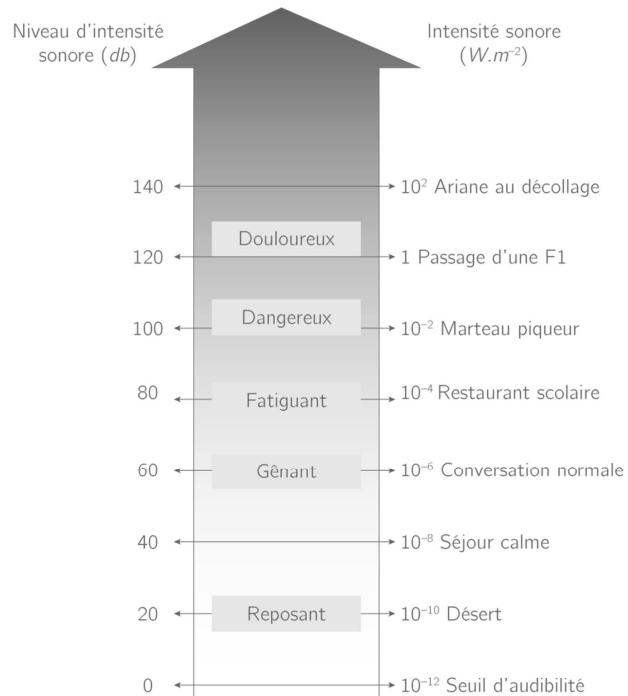
Thème 3 - Chapitre 1 - L'effet Doppler.mp4

ANNEXES

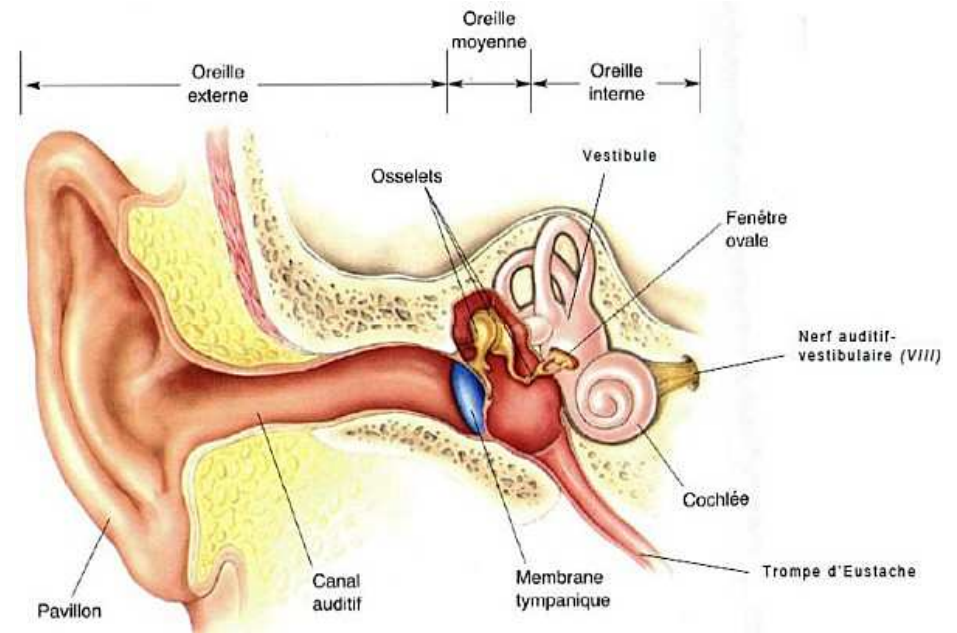
ACOUSTIQUE ANIMALE



EXEMPLES DE SOURCES SONORES

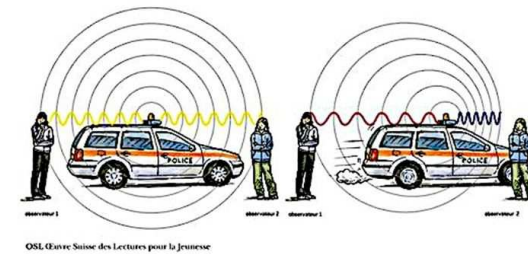


SCHEMA DE L'OREILLE



EFFET DOPPLER

- Source en déplacement par rapport à un récepteur:
 - la fréquence du son perçu par le récepteur lorsque la source se rapproche n'est pas la même que lorsque la source s'éloigne



OSL Œuvre Suisse des Lectures pour la Jeunesse