

# **Les ondes sonores et ultrasonores**

## **Sommaire**

-I-	Qu'est-ce qu'un son?-----	2
-II-	La réception sonore: L'oreille. -----	2
-III-	Propriétés des ondes sonores. -----	3
1.	La hauteur d'un son. -----	3
2.	Le niveau sonore. -----	3
1.2.	Intensité sonore. -----	3
2.2.	Niveau sonore. -----	3
3.2.	Sensibilité auditive-----	3
-IV-	L'acoustique musicale. -----	4
-V-	Analyse spectrale d'un son musicale. -----	4
1.	Fondamentale et harmonique. -----	4
2.	Hauteur et timbre. -----	5

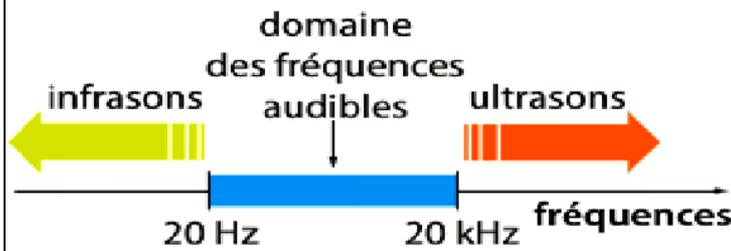
### **Notions et contenus :**

- Ondes sonores et ultrasonores
- Analyse spectrale. Hauteur et timbre
- Niveau d'intensité sonore.

### **Compétences attendues :**

- Réaliser l'analyse spectrale d'un son musical et l'exploiter pour en caractériser la hauteur et le timbre.
- Connaître et exploiter la relation liant le niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore.
- Pratiquer une démarche expérimentale mettant en œuvre un capteur ou un dispositif de détection.

# Les ondes sonores et ultrasonores

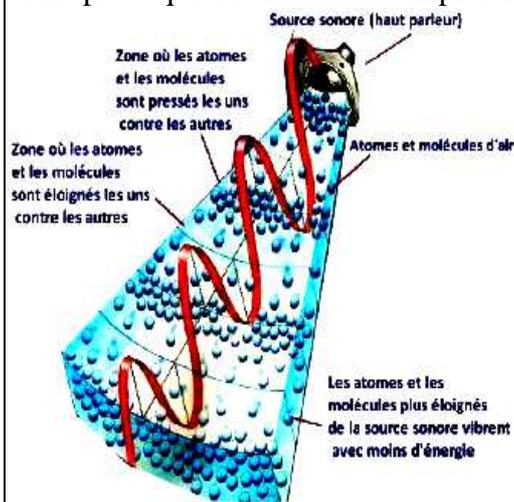
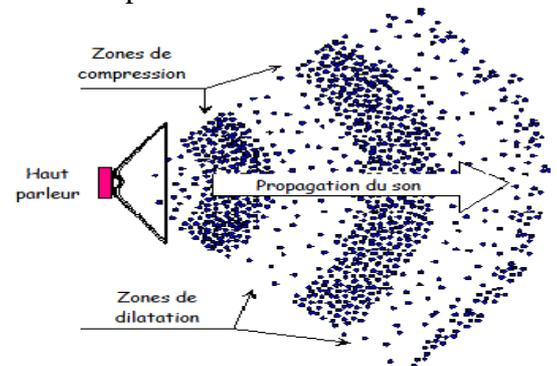


L'être humain peut entendre des sons dont les fréquences s'étalent de **20 Hz à 20 kHz**. Les fréquences faibles correspondent aux sons graves et les fréquences élevées, aux sons aigus.

Pour produire un son, un instrument de musique doit remplir deux rôles : vibrer et émettre. Le physicien afin de comprendre le phénomène modélise les sons par des ondes.

## -I-Qu'est-ce qu'un son?

Les ondes sonores se propagent dans les trois dimensions, mais à condition qu'elles soient en présence de matière (solide, liquide ou gaz). Ces ondes sonores font vibrer les molécules d'air présentes près de la source sonore, et transmettent leur mouvement à leurs voisins lorsqu'elles se heurtent, qui elles-mêmes transmettent à leur tour le mouvement et ainsi de suite. Cela provoque des zones de compressions et de décompressions.



La membrane d'un haut-parleur comprime et dilate la couche d'air avec laquelle elle est en contact pour créer une onde sonore. Les molécules de gaz proches de la membrane sont projetées par celle-ci. Ces molécules s'entrechoquent avec les molécules voisines. La zone de pression se déplace. Après le "choc" les molécules reprennent leur position initiale.

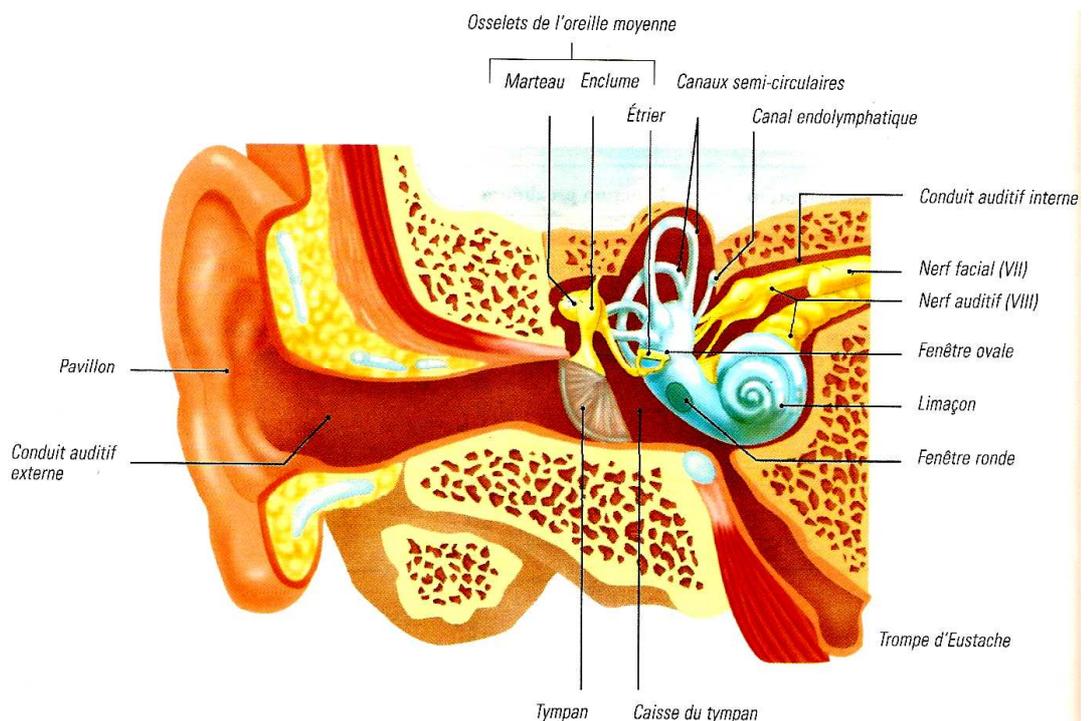
**Le son est une onde mécanique longitudinale.**  
**Une onde sonore et/ou ultrasonore est un phénomène périodique qui se propage par une suite de compressions et de dilatations du milieu de propagation.**  
**Une onde nécessite un milieu matériel pour se propager:** l'air, un métal, l'eau ...

## -II- La réception sonore: L'oreille.

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

La sensibilité maximale de l'oreille intervient pour des fréquences de l'ordre de 3000Hz.

On appelle infrasons des sons dont les fréquences sont inférieures à 20Hz et ultrasons des sons dont les fréquences sont supérieures à 20kHz.



**-III- Propriétés des ondes sonores.**

**1. La hauteur d'un son.**

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

**La hauteur d'un son est la propriété qui donne la sensation que ce son est plus aigu ou plus grave.**

**2. Le niveau sonore.**

Comme toutes les ondes mécaniques, les ondes sonores transportent de l'énergie. Le transfert d'une partie de cette énergie à notre système auditif est responsable de l'audition d'un son.

**1.2. Intensité sonore.**

**L'intensité sonore  $I$  (en  $W.m^{-2}$ ) caractérise la puissance  $P$  (en  $W$ ) de la vibration sonore reçue au voisinage d'un point par un récepteur (l'oreille) par unité de surface d'aire  $S$  (en  $m^2$ ).**  $I = \frac{P}{S}$

**Exemple:** Pour l'oreille humaine, l'intensité sonore perceptible (intensité pour laquelle on peut entendre un son) est comprise entre  $10^{-12} W.m^{-2}$  (seuil d'audibilité) et  $25 W.m^{-2}$  (seuil de douleur).

**2.2. Niveau sonore.**

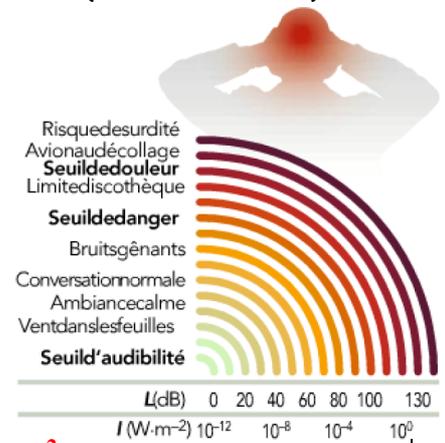
La sensation physiologique auditive n'est pas proportionnelle à cette intensité. En effet, lorsqu'on assiste à un concert, les intensités sonores dues à chaque instrument s'ajoutent, mais le son ne paraît pas proportionnellement plus fort.

On définit donc une nouvelle grandeur, notée  $L$  et appelée niveau sonore, qui se mesure en décibel acoustique  $dB_A$ .

**Niveau d'intensité sonore  $L$  (en dB):**  $L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$

**$I$  est l'intensité sonore de la vibration acoustique reçue.**

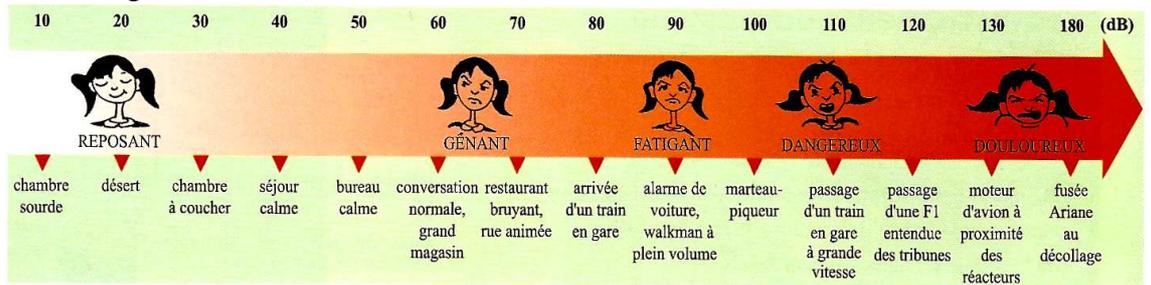
**$I_0$  est l'intensité sonore correspondant au seuil d'audibilité soit  $I_0 = 10^{-12} W.m^{-2}$**



**Remarques:**

- $L$  pour Level en anglais.
- « log » est la fonction logarithme décimal.

L'échelle de  $L$  est graduée de 0 à 140 dB pour l'oreille humaine : alors que l'intensité sonore est graduée de  $10^{-12}$  à  $10^2 W.m^{-2}$ :

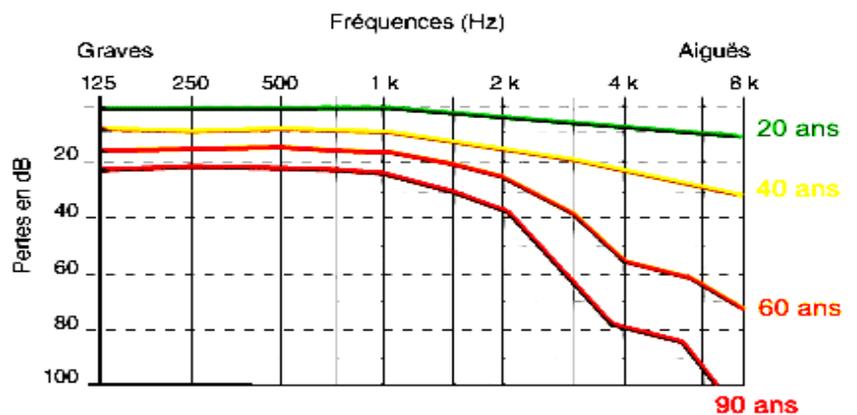


**3.2. Sensibilité auditive**

La sensibilité auditive d'une personne en fonction de la fréquence sonore est représentée sur un audiogramme :

- La fréquence est portée en abscisse, on utilise une échelle logarithmique
- Les pertes de niveau sonore sont portées en ordonnée.

Le but d'un audiogramme est de faire apparaître des troubles auditifs, dus à l'âge, au milieu professionnel,...



**Remarques:**

- Le niveau d'intensité sonore peut être mesuré à l'aide d'un **sonomètre**.
- Le **seuil d'audibilité** correspond à un **niveau d'intensité sonore de 0dB**.

Lorsque l'intensité sonore est multipliée par deux, le niveau d'intensité sonore n'augmente que de 3dB.

**-IV- L'acoustique musicale.**

- **L'intensité sonore:** L'intensité d'un son est liée à l'amplitude de l'onde sonore.
- **La hauteur:** La hauteur d'un son est liée à la fréquence de la vibration sonore.
- **Le timbre:** Le timbre permet de différencier deux notes de même hauteur (c'est à dire de même fréquence) jouées par deux instruments différents. Cela est lié à la nature des harmoniques superposées au fondamental.

Un son comportant uniquement le son fondamental est un son pur, il est sinusoïdal.

Un son comportant le fondamental et des harmoniques est un son complexe, il n'est pas sinusoïdal.

**Remarque:** La hauteur d'un son correspond à la fréquence de son fondamental.

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

Elle se décompose en plusieurs phases :

- **L'attaque:** l'établissement du son pendant laquelle l'amplitude du son augmente.
- **Le corps:** pendant laquelle l'amplitude du son reste à peu près constante
- **L'extinction:** pendant laquelle l'amplitude du son diminue jusqu'à s'annuler.

**-V- Analyse spectrale d'un son musicale.**

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

**1. Fondamentale et harmonique.****a) Son pur:**

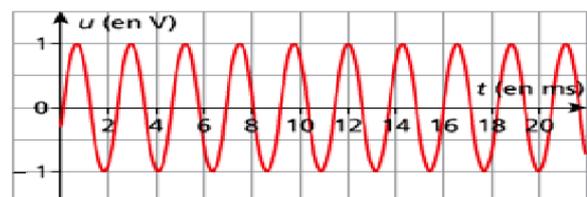
Un son qui possède un **signal périodique sinusoïdal** comme celui d'un diapason est un **son pur**.

**Exemple 1:**  $la_3$  obtenu avec un diapason

$$7T = 16 \text{ ms}$$

$$T = 2,28 \cdot 10^{-3} \text{ s}$$

$$f_1 = 438 \text{ Hz}$$

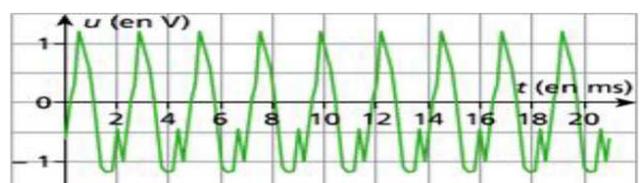
**b) Son complexe:**

La plupart des sons produits en général par les instruments de musique jouant une seule note ne sont pas purs mais présentent un **caractère périodique non sinusoïdal**; on parle de **son complexe**.

**Exemple 2:**  $la_3$  obtenu avec une guitare

$$f_1 = 438 \text{ Hz}$$

Les sons non sinusoïdaux, comme celui de la guitare, sont qualifiés de complexes.



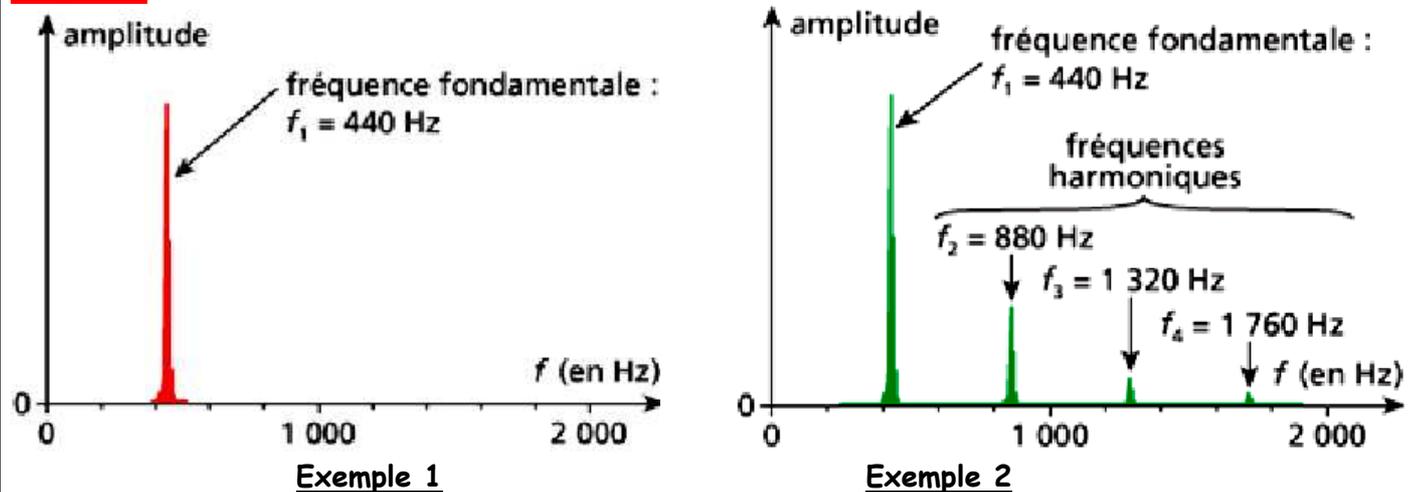
**Analyse spectrale de Fourier:**

L'analyse de Fourier permet d'obtenir les fréquences et les amplitudes du fondamental et des différentes harmoniques qui composent un son complexe.

Pour tout instrument, le signal est limité par une enveloppe.

Elle traduit l'évolution de l'amplitude du signal sonore. Elle contribue au **timbre** de l'instrument.

Pour comprendre un son complexe, on réalise **une analyse spectrale** (ou analyse par décomposition en série de Fourier): **c'est la représentation de l'amplitude relative d'un signal en fonction de la fréquence.**



**Deux notes identiques ont la même fréquence**

Un son périodique complexe de fréquence  $f_1$  peut être décomposé en une somme de sons purs, appelés **harmoniques** dont les fréquences sont des **multiples de  $f_1$** .  $f_1$  est la **fréquence du fondamental**.

**L'analyse spectrale d'un son indique l'importance relative de chaque harmonique de ce son.**

- Le son de fréquence  $f_1$  est appelé le **fondamental**  
Sa fréquence est égale à celle du son:  $f_1 = f$ .
- Un son périodique de fréquence  $f$  peut être décomposé en une somme de sons purs, appelés **harmoniques**, de fréquences:  $f_n = n \times f_1$ 
  - $n$ : entier non nul
  - $f_1$ : fréquence du **fondamental** en Hertz (Hz)
  - $f_n$ : fréquence de l'**harmonique** de rang  $n$  en Hertz (Hz)

## 2. Hauteur et timbre.

- La **hauteur** d'un son est la fréquence du signal correspondant appelé **fondamental**.
- Le **timbre** d'un son dépend de la présence et de l'importance, dans le spectre de fréquences, de pics appelés **harmoniques**.

Deux sons de même hauteur émis par deux instruments différents ne sont pas perçus de la même manière. Ils ont des **timbres** différents. Ils n'ont pas le même nombre d'**harmoniques**, et elles n'ont pas la même **amplitude**.

Le timbre d'un son est donc lié à sa composition spectrale (présence, importance et durée des harmoniques) et à son évolution au cours du temps (attaque et extinction du son).

Le timbre d'un son correspond à la "richesse" d'un son en harmonique.

**Exemple:** Un diapason et une guitare peuvent émettre des sons de même hauteur mais de timbres différents.