

## L'intensité sonore

Introduction :

Les sons, qu'ils s'agisse de bruits ou de paroles, sont omniprésents. Nous présenterons dans ce cours les généralités sur les propriétés des ondes acoustiques, puis nous détaillerons la notion de niveau sonore, qui est une grandeur physique permettant de décrire une échelle sonore. Enfin, nous verrons la capacité qu'ont les différents milieux de propagation à atténuer le son.

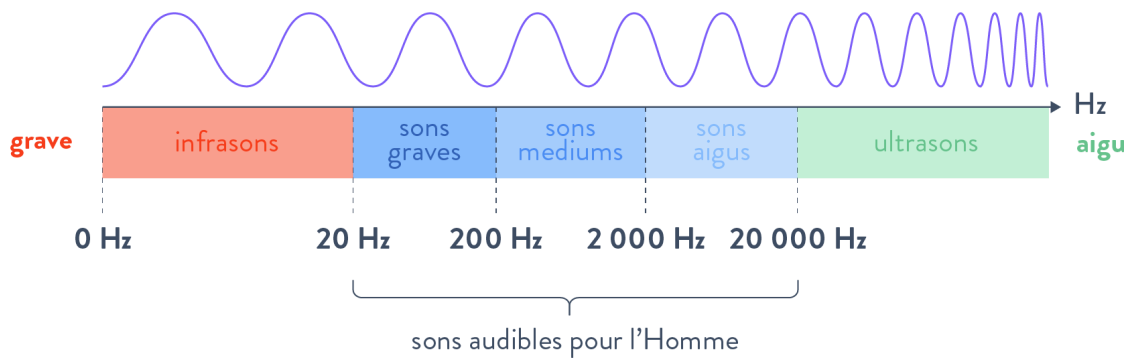
### 1 Aspect énergétique d'une onde acoustique

#### a. Caractéristiques physique d'une onde acoustique



Comme vu en classe de seconde, les ondes sonores sont des **ondes mécaniques** qui peuvent se propager uniquement dans un milieu matériel et fluide. Elles permettent de transmettre des messages, avec transport d'énergie mais sans déplacement de matière.

Les sons audibles par l'être humain ont une **fréquence  $f$**  comprise entre **20 Hz** (sons graves) et **20 kHz** (sons aigus). Au-delà de cette tranche de fréquences audibles on parle **d'ultrasons** et en-deçà de la tranche de fréquences audibles on parle **d'infrasons**.

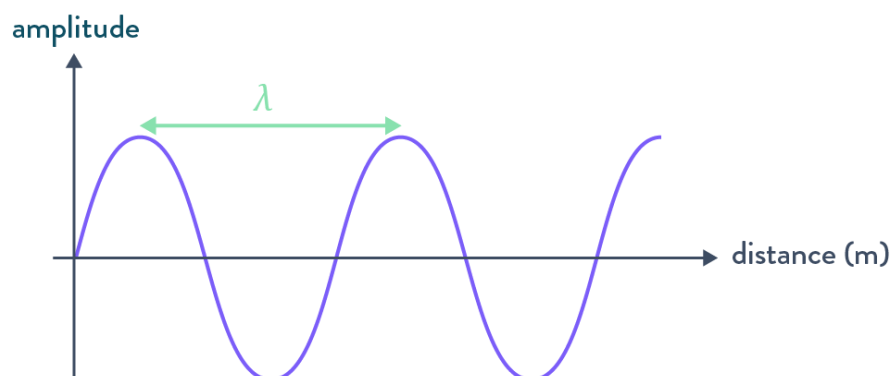


© SCHOOLMOUV

La science traitant les ondes sonores, leur propagation, leur interaction avec les milieux matériels et leurs caractéristiques est **l'acoustique**.

→ Ainsi les **ondes sonores** sont aussi appelées **ondes acoustiques**.

Un son pur est représenté comme une onde acoustique parfaitement sinusoïdale et périodique :



© SCHOOLMOUV

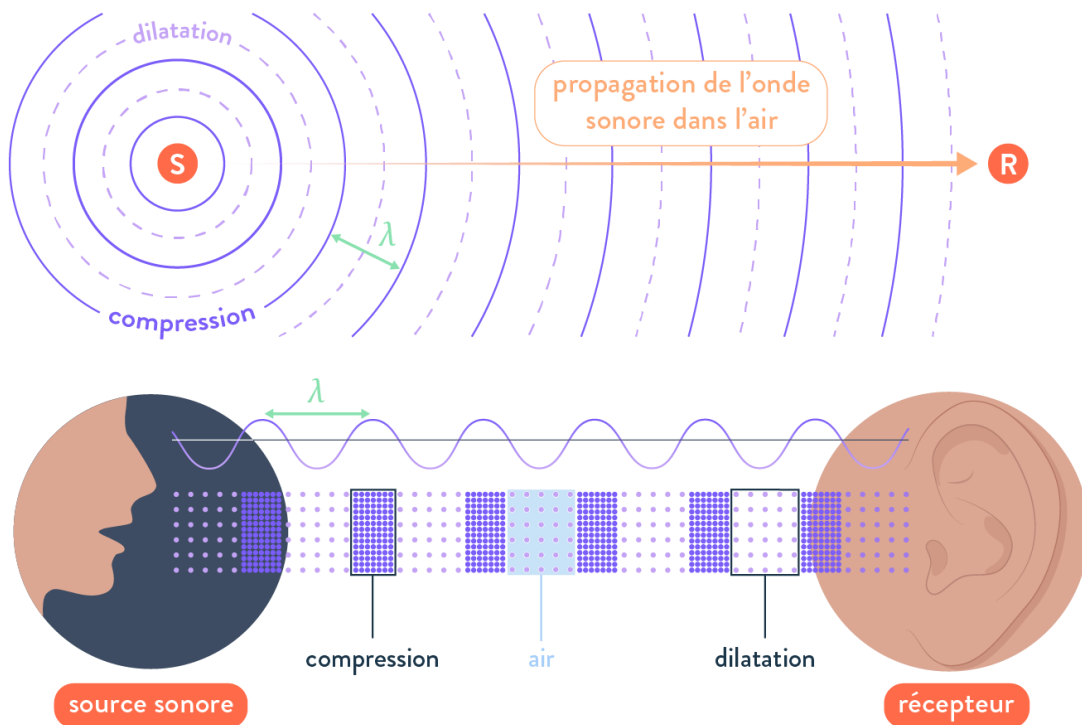


### Source ponctuelle :

Une source est dite ponctuelle lorsque son émission est localisée en un point.

→ Une onde acoustique est produite par une **source sonore** ponctuelle. Cette perturbation se propage dans un milieu matériel, sans transport de matière

mais avec un transport d'énergie, pour ensuite atteindre un **récepteur**.



Nous pouvons observer que la propagation d'une onde sonore se fait de manière **sphérique** car elle se développe dans un milieu homogène et sans obstacle, permettant à l'onde d'une source idéale de se propager de façon isotrope dans toutes les directions. De plus, sur notre schéma, nous pouvons voir que l'onde se dilate puis se comprime à des intervalles de temps réguliers. Elle se propage donc dans le sens de la **compression-dilatation**.



À retenir

Les paramètres du son, tels que la **période**  $T$ , la fréquence  $f$ , la **célérité**  $c$  ou encore la **longueur d'onde**  $\lambda$ , vont dépendre de la source sonore, du récepteur et du milieu matériel dans lequel l'onde se propage.



Exemple

À pression atmosphérique et à une température ambiante de  $20^{\circ}\text{C}$ , la célérité de l'onde  $c$  dans l'eau est égale à  $1\,480\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , alors que dans l'air elle est égale à  $340\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .



La **puissance acoustique**  $P$  de la source sonore, exprimée en watt (**W**), est une grandeur physique caractéristique de la source.



### Définition

#### Intensité acoustique :

L'intensité acoustique  $I$ , exprimée en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ , est la grandeur qui caractérise l'énergie produite de l'onde acoustique, c'est-à-dire sa puissance par unité de surface.

Elle se calcule par le ratio de la puissance  $P$  sur la surface  $S$  perpendiculaire à la propagation du son :

$$I = \frac{P}{S}$$

Avec :

- $P$  la puissance s'exprime en **W** ;
- $S$  la surface s'exprime en  $\text{m}^2$ .

L'intensité acoustique perçue par l'oreille humaine dépend de la puissance acoustique de la source mais aussi de la distance entre le récepteur et la source.

L'intensité acoustique perçue par l'oreille dépend également du milieu et des obstacles traversés par l'onde sonore et de la fréquence, d'où la différence de perception entre un son aigu et un son grave.



### Exemple

Soit un haut-parleur émettant un son avec une puissance de **75 W**.  
Quelle sera l'intensité acoustique perçue par un danseur qui se trouve à **60 m** de l'haut-parleur ?

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{P}{S} \\
 &= \frac{P}{4\pi r^2} \\
 &= \frac{75}{4\pi 60^2} \\
 &= 1,6 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

$S$  est la surface de la sphère de rayon  $r$ , car la source sonore est ponctuelle, c'est-à-dire localisée en un point.

## 2 | Le niveau d'intensité sonore

L'intensité acoustique d'un son est donc une grandeur importante mais difficilement mesurable et peu exploitable dans l'état, notamment à cause de ses petites valeurs qui ne permettent pas de décrire une échelle de l'intensité. Pour remédier à cela, une échelle logarithmique a été créée, c'est le **niveau d'intensité sonore**.



### Définition

#### Niveau d'intensité sonore :

Le niveau d'intensité sonore  $L$  est une grandeur physique exprimée en décibel (dB) et se définit par la formule suivante :

$$L = 10 \times \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

Avec :

- $I$  l'intensité sonore d'un son en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  ;
- $I_0$  l'intensité de référence, qui correspond à la plus basse intensité audible pour l'homme et qui vaut  $1,00 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ .

→ Un **sonomètre** est un appareil qui permet de mesurer le niveau d'intensité sonore.

La fonction **logarithme décimale** ( $\log$ ) nous dit que, si  $a$  un réel strictement positif et  $b$  un réel, alors :

- $\log(a) = b$ , donc  $a = 10^b$  ;
- $\log(1) = 0$  ;
- $\log(10) = 1$

- **Calculons maintenant quel est le seuil de perception minimum pour l'oreille humaine.**

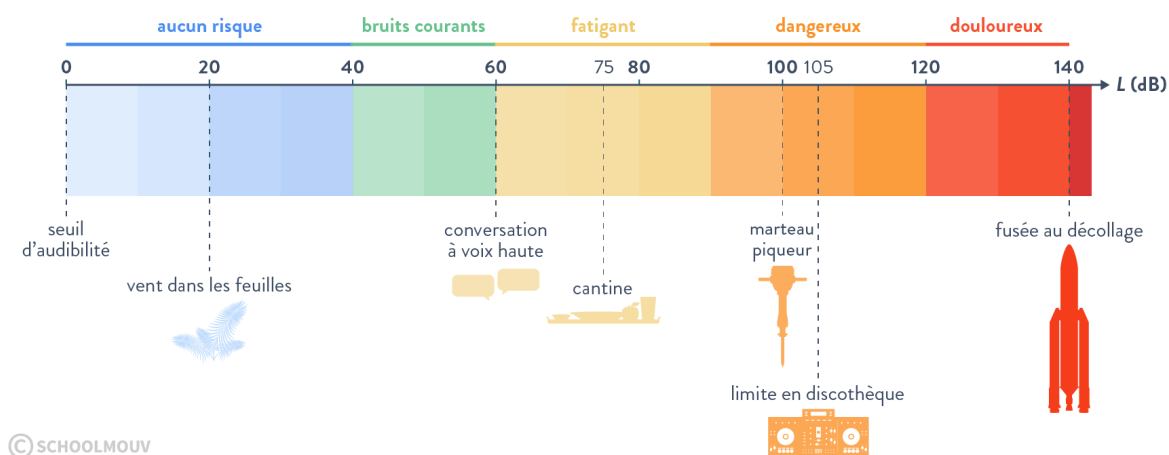
Si  $I = I_0$  alors,

$$\begin{aligned} L_0 &= 10 \times \log\left(\frac{I_0}{I_0}\right) \\ &= 10 \times \log(1) \\ &= 10 \times 0 \\ &= 0 \text{ dB} \end{aligned}$$

→ Ainsi, le plus bas niveau sonore audible est égal à 0 dB.

Le niveau d'intensité sonore est donc une grandeur positive et son échelle permet d'identifier les sons fatigants ( $L > 60 \text{ dB}$ ), les sons dangereux ( $L > 90 \text{ dB}$ ) voire douloureux et les sons entraînant des dommages irréversibles ( $L > 120 \text{ dB}$ ) pour l'être humain.

## Échelle de niveaux sonores



- Le niveau d'intensité sonore  $L$  se calcul en fonction de l'intensité sonore  $I$ , mais il est aussi possible de calculer l'intensité sonore  $I$  à partir du niveau sonore  $L$  :

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \times \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \Leftrightarrow \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = \frac{L}{10} \\
 &\Leftrightarrow 10^{\log \left( \frac{I}{I_0} \right)} = 10^{\frac{L}{10}} \text{ [avec } 10^{\log(a)} = a \text{]} \\
 &\Leftrightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}} \\
 &\Leftrightarrow \boxed{I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}}
 \end{aligned}$$



- Reprenons l'exemple du danseur. Il subit une intensité sonore de  $1,6 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Est-ce dangereux pour lui d'être exposé à ce son à long terme ?

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \times \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \\
 &= 10 \times \log \left( \frac{1,6 \times 10^{-3}}{10^{-12}} \right) \\
 &= 92 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Un niveau sonore de **92 dB** commence à être dangereux pour le danseur. Sans protection, il ne lui est pas conseillé de rester trop longtemps exposé à ce son.

- Dans une rue bruyante, on mesure un niveau sonore de **65 dB**. Quelle est donc l'intensité sonore de cette rue ?

$$\begin{aligned} I &= I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \\ &= 1,00 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{65}{10}} \\ &= 3,16 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

### 3 | L'atténuation

Une onde sonore est émise avec une certaine puissance caractéristique de la source sonore. Elle se propage ensuite dans le milieu matériel pour atteindre le récepteur. Cependant, pendant sa trajectoire une onde acoustique perd une partie de son énergie, c'est le phénomène d'**atténuation acoustique**.



#### Définition

#### Atténuation acoustique :

L'atténuation acoustique est une grandeur physique, exprimée en décibel (**dB**), correspondant à la diminution de la puissance de l'onde sonore entre son émission et sa réception.

a.

#### Atténuation acoustique géométrique



#### À retenir

L'atténuation acoustique est dite **géométrique** si la diminution de la puissance de l'onde est due à la distance entre la source et le récepteur. Plus cette distance est importante, plus l'intensité de l'onde acoustique se diffuse sur une plus grande surface et donc plus l'intensité sera moins concentrée et faible en tout point.

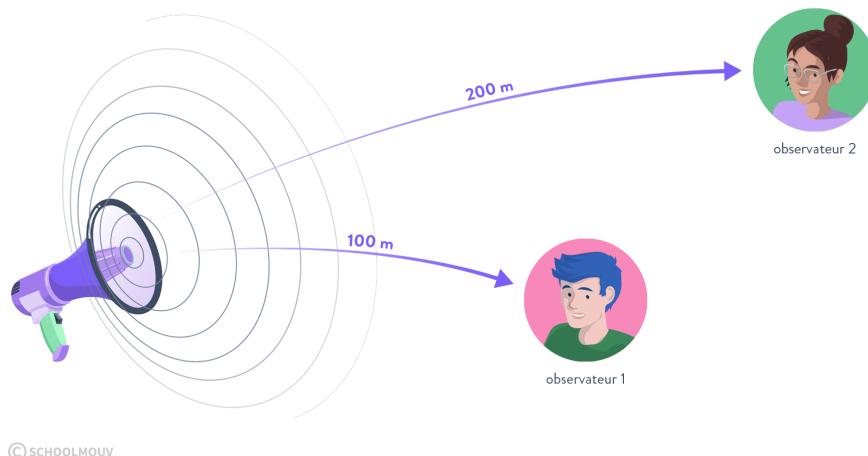


En effet la sensation ne sera pas la même si on se tient à **2** ou **100** mètres d'une machine bruyante.



### Exemple

Soit un haut-parleur émettant un son de puissance **75 W**, un premier observateur se situe à **100 m** de la source tandis qu'un autre observateur se tient à **200 m** de la source.



Soient  $I_1$  l'intensité ressentie par l'observateur 1 et  $L_1$  son niveau d'intensité, et  $I_2$  l'intensité ressentie par l'observateur 2 et  $L_2$  son niveau d'intensité :

- $I_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{4\pi r_1^2} = \frac{75}{4\pi 100^2} = 6,0 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- $I_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{4\pi r_2^2} = \frac{75}{4\pi 200^2} = 1,5 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Cette différence d'intensité sonore observée entre les deux observateurs se traduit par une **différence de niveau d'intensité sonore  $\Delta L$**  :

- $L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 10 \times \log\left(\frac{6,0 \times 10^{-4}}{10^{-12}}\right) = 87,8 \text{ dB}$
- $L_2 = 10 \times \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10 \times \log\left(\frac{1,5 \times 10^{-4}}{10^{-12}}\right) = 81,7 \text{ dB}$

→  $\Delta L = L_1 - L_2 = 87,8 - 81,7 \approx 6 \text{ dB}$

→ En doublant la distance de deux récepteurs depuis une source sonore ponctuelle, le niveau d'intensité sonore diminue de **6 dB** par atténuation

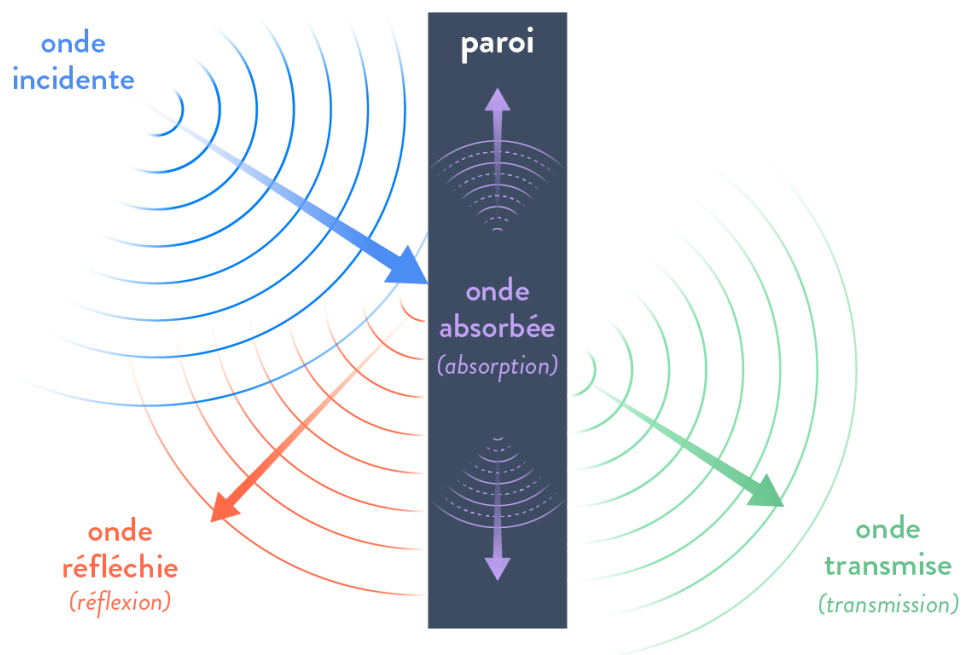
géométrique.

## b. Atténuation acoustique par absorption



L'atténuation acoustique est dite **par absorption**, si la diminution de la puissance de l'onde est due à la transformation d'une partie de l'énergie mécanique en une énergie thermique grâce aux frottements, et suite à son absorption par les molécules du milieu de propagation ou par une paroi.

### Trajet d'une onde sonore à la rencontre d'une paroi



© SCHOOLMOUV

- L'atténuation par absorption, contrairement à l'atténuation acoustique géométrique, dépend de la nature du milieu (plus le milieu est dense, plus il absorbe) mais aussi de la fréquence des ondes sonores, plus la fréquence est importante plus l'absorption le sera aussi.



- Le principe de l'isolement phonique d'une pièce repose sur l'atténuation acoustique par absorption. En effet, isoler une pièce revient à limiter la propagation des ondes sonores de la pièce vers l'extérieur et de l'extérieur vers la pièce. Pour cela, tous les murs de la pièce sont recouverts de matériaux durs, denses. Et si un mur est étanche à l'air, il sera aussi étanche au son, et aura donc une meilleure isolation.
- Un autre exemple d'utilisation de l'atténuation acoustique est le casque de sécurité anti-bruit.

→ La diminution totale de la puissance d'une onde sonore due à sa propagation est donc la somme de l'atténuation géométrique et de l'atténuation par absorption.

### Conclusion :

Les ondes sonores sont donc audibles par l'être humain pour une fréquence comprise entre **20 Hz** et **20 kHz** et peuvent devenir dangereuses si le niveau sonore excède **90 dB**.

Si on veut se protéger d'un son fatigant ou dangereux, l'éloignement physique permet de l'atténuer. C'est le principe de l'atténuation acoustique géométrique. Quand cela n'est pas possible, l'utilisation de matériaux absorbants permettent aussi de s'en protéger. C'est le principe de l'atténuation acoustique par absorption.