Thème : Ondes et signaux
Cours 15-1 : Intensité sonore et niveau d'intensité sonore
(version professeur)

B.O. Caractériser les phénomènes ondulatoires
Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore. Atténuation (en dB)
Capacité mathématique : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.

I. **Ondes sonores et ultrasonores.** (Rappels de première)

1. Définition.

Les ondes sonores sont des ondes longitudinales périodiques dont les perturbations qui se propagent sont des zones de compression et de dilatation d'un milieu matériel.
Elles s'accompagnent donc de variations de pression qui se propage de proche en proche.
Le domaine de fréquence d'audibilité de l'oreille humaine est compris entre 20 Hz et 20 000 Hz.

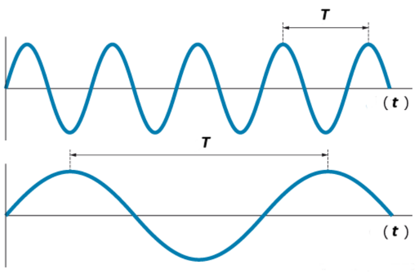
Les ondes se caractérisent par une périodicité temporelle, appelée période, notée *T* et une périodicité spatiale, la longueur d'onde, notée λ. On a la relation : $\lambda = c.T$ *T* (étant exprimée en seconde)

Les ultrasons sont des ondes dont la fréquence est supérieure à 20 kHz.

2. Exemples d'ondes sonores.

On peut visualiser la périodicité temporelle des ondes sonores sur un oscillogramme.

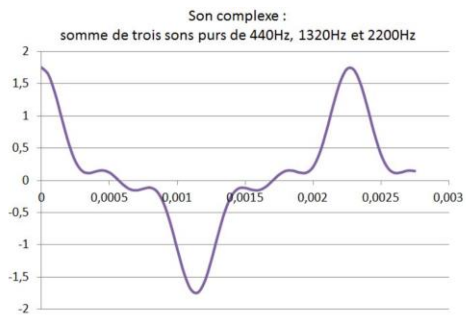
2.1. Onde sonore progressive longitudinale et sinusoïdale.



plus petite.
Fréquence plus élevée.
Son plus aigüe.

plus grande.
Fréquence plus faible.
Son plus grave

2.2. Onde sonore émis par un instrument de musique.



Cette figure montre une onde sonore périodique, mais non sinusoïdale émise par un violon.
Note : Do3 à 262 Hz.

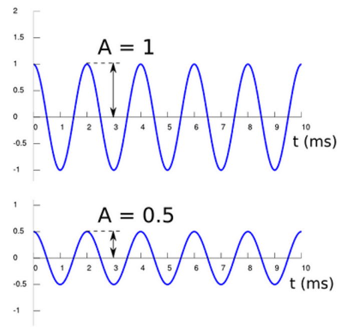
Fourier a montré que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales. Le signal ci-dessus est donc le résultat de plusieurs fonctions sinusoïdales.

II. Intensité sonore *I* et niveau d'intensité sonore *L* :

1. L'intensité sonore *I* (W/m²).

1.1. Intensité sonore et amplitude de l'onde.

L'intensité sonore est liée à l'amplitude de l'onde sonore.



Université du Maine

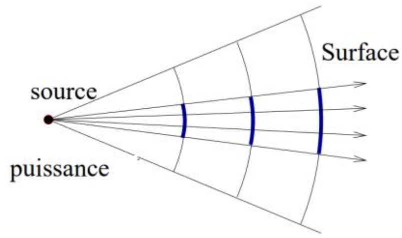
1.2. Sensation auditive – Intensité acoustique *I* (W.m^{-2}).

La sensation auditive dépend de l'intensité I des sons reçus.
Les ondes sonores transportent de l'énergie (acoustique) dont une partie est reçue par la surface du tympan.

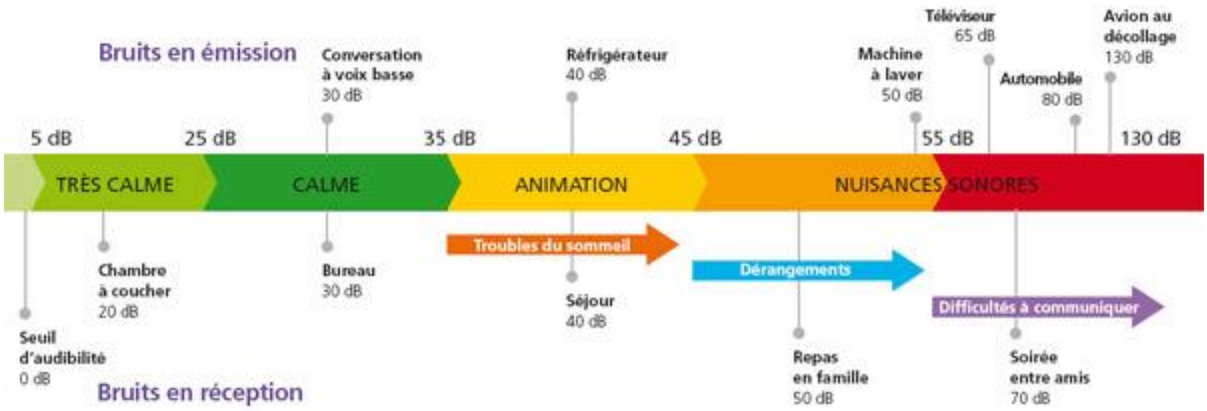
On appelle intensité acoustique (ou intensité sonore), notée *I*, la puissance acoustique reçue par unité de surface de récepteur. Elle se mesure en watts par mètre carré (symbole : W/m²).

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

I : intensité acoustique (W/m²)
P : puissance acoustique (W)
S : surface traversée (m²)



L'intensité acoustique est comprise entre 10^{-12} W/m² (seuil d'audibilité) et 10^{2} W/m² (seuil de douleur) pour des ondes sonores de 1000 Hz.



1.3. Niveau d'intensité acoustique L (dB)

La sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité acoustique.
Dans une salle ou fonctionne un haut-parleur, l'installation d'un second haut-parleur identique ne change guère la sensation auditive : l'intensité acoustique double, mais l'auditeur n'entend pas un son deux fois plus fort.

Aussi a-t-il été défini une grandeur liée à la sensation auditive de l'oreille ; elle est appelée niveau d'intensité acoustique.

Le niveau d'intensité acoustique L (Level = « niveau » en anglais) est mesuré en décibels (symbole Db) avec un sonomètre et est défini par la relation suivante : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0}\right)$
Avec $I_0 = 10^{-12}$ W/m² (seuil d'audibilité ou niveau d'intensité de référence)

soit $\boldsymbol{L = 10 \cdot log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)}$ avec sa réciproque pour calculer une intensité sonore $\boldsymbol{\frac{I}{10^{-12}} = 10^{\frac{L}{10}}}$

L'intensité acoustique est une grandeur additive alors que le niveau d'intensité acoustique L n'est pas une grandeur additive !
Le niveau d'intensité acoustique L est calculé pour une fréquence donnée du son.

Décibel : unité donnée en hommage a Graham Bell (1847-1922), inventeur du téléphone en 1876.

Applications :

Application 1 : On estime à 70 Db le niveau sonore produit par un seul violon a 5 m. Calculer le niveau sonore produit par un groupe musical constitué de 10 violons. On considère que tous les violons sont à 5 m de l'auditeur.

$$L_{10} = 10\log\left(\frac{10\,I_1}{I_0}\right) .$$

D'après la formule rappelée dans le doc 3, on peut écrire :

$$L_{10} = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) + 10\log 10 = L_1 + 10$$

On en déduit donc : $L_{10} = 70 + 10 = 80\,dB$

Application 2 : L'exposition a une intensité sonore I = 1,0 × 10^{-1} W.m^{-2} peut endommager l'oreille de l'auditeur. Combien de violons doivent jouer pour atteindre cette intensité pour un auditeur situe à 5 m ? Conclure.

$$L_{danger} = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

On en déduit : $L_{danger} = 10\log\left(\frac{1{,}0.10^{-1}}{1{,}0.10^{-12}}\right) = 10\log(1{,}0.10^{11}) = 110\,dB$

On peut maintenant déterminer le nombre de violon nécessaire pour atteindre ce niveau sonore :

$$L_{danger} = 10\log\left(\frac{n.I_1}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) + 10\log n = L_1 + 10\log n$$

Soit : $\log n = \frac{L_{danger} - L_1}{10}$

On en déduit : $n = 10^{\frac{L_{danger} - L_1}{10}}$

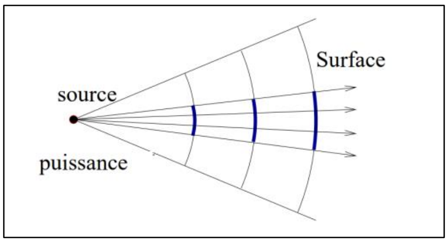
$$n = 10^{\frac{110 - 70}{10}} = 10^4$$

Il faudrait donc 10 000 violons (tous à 5m de l'auditeur !!!) pour endommager l'oreille de l'auditeur...

Il ne devrait donc pas y avoir de problèmes...

III. Atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.

1. Atténuation géométrique.



Le son se propage dans l'espace comme indiqué sur la figure ci-contre

Si la surface d'onde est une sphère , on a $S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$

Le niveau sonore dans l'axe de la source est : $L = 10 \cdot log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$

$L_{p(r)}$ est le niveau d'intensité sonore mesuré à une distance r (m)
$L_{p(1)}$ est le niveau d'intensité sonore mesuré à 1 m

Atténuation en fonction de la distance

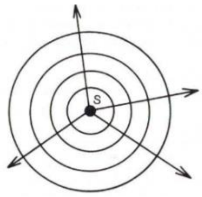
En niveau de pression : $L_{P(r)} = L_{P(1m)} - 20\lg r$

Par doublement de distance : $L_{P(2r)} = L_{P(r)} - 6$

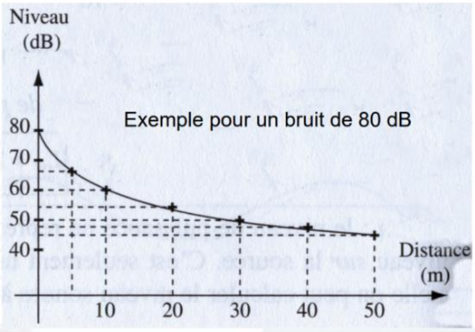
Relation identique que l'on passe de 1 à 2 m, de 2 à 4 ou de 100 à 200.

Relation indépendante de la fréquence.

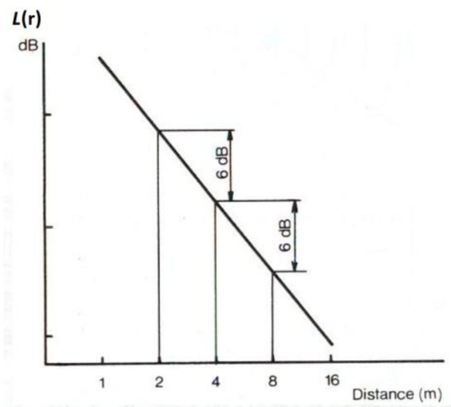
Par cette relation : on perd 20 dB quand la distance est multipliée par 10 : $L_{P(10r)} = L_{P(r)} - 20$



Distance r (m)	$L(r) - L(1\ \text{m})$ (dB)
2	– 6
5	– 14
10	– 20
20	– 26
30	– 29,5
40	– 32
50	– 34



Source : Ing. M. Van Damme (https://lcjcapteurs.com/wp-content/uploads/2014/06/111207-Cours-environnement-CHAP04-Propagation-du-bruit-dans-lenvironnement_2.pdf)



Question : Dans une salle de concert, des spectateurs situés à 16 m des instruments, entendent un son dont le niveau d'intensité sonore est égal à 98 dB. Sachant que s'ils s'approchent à 8 m de la scène (la distance étant divisée par 2), l'intensité sonore est multipliée par 4, montrer qu'ils entendent un son dont le niveau d'intensité sonore est augmenté de 6 dB.

Réponse : $L_{16} = 10 \cdot log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 98\ dB$ $L_8 = 10 \cdot log\left(\frac{4I}{I_0}\right) = 10 \cdot log\left(\frac{I}{I_0}\right) + 10 \log 4 = 98 + 6 = 104$ dB

2. Atténuation par absorption.

2.1. Atténuation atmosphérique.

Phénomène complexe, dépendant de nombreux facteurs :

- **Éloignement de la source,**
- **Contenu fréquentiel du bruit,**
- Température ambiante,
- Humidité relative,
- Pression atmosphérique.

→ l'absorption atmosphérique a peu d'effet sur les bruits riches en basses fréquences.

Les basses fréquences peuvent se propager très loin (ex. des séismes).

Courbes de référence : par exemple, à 4000 Hz, pour une température de 20°C et une HR de 30 % : atténuation par dissipation = 50 dB/km.

L'atténuation par dissipation s'ajoute à l'atténuation géométrique pour donner l'atténuation totale.

2.2. Atténuation par une paroi.

On définit le coefficient d'absorption α d'un matériau par $\alpha = \frac{Energie\ acoutique\ absorbée}{Energie\ acoustique\ incidente} = \frac{I_a}{I_i}$

Le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue par mètre carré définit le coefficient d'absorption de la paroi.
Les matériaux les plus réfléchissants ont un coefficient d'absorption très faible, entre 0,02 et 0,05 (marbre, ciment, plâtre, etc.).
Les matériaux poreux ou fibreux, comme l'amiante, le feutre ont des coefficients d'absorption de l'ordre de 0,4.

Pour évaluer l'isolation phonique d'une paroi, on utilise l'indice d'affaiblissement R qui s'exprime en décibel. Cet indice caractérise l'absorption d'un son lorsqu'il traverse une paroi composée d'un ensemble de matériaux donné et d'une épaisseur donnée. Il se calcule grâce à l'expression suivante :

$$R = L_{incident} - L_{transmis}$$

Avec :

- $L_{incident}$ le niveau sonore d'un son arrivant sur la paroi (en dB)
- $L_{transmis}$ le niveau sonore résultant du son après la traversée de la paroi (en dB)

On considère un son émis à une fréquence de 1000 hertz avec une intensité sonore de $1{,}0.10^{-4}$ W.m^{-2} (bruit d'un téléviseur pendant un film). Ce son arrive sur une paroi composée de deux plaques de plâtre de 1 cm d'épaisseur séparées par 15 cm de laine minérale. Une fois la paroi franchie, l'intensité du son n'est plus que $1{,}0.10^{-9}$ W.m^{-2}.

Quel est l'indice d'affaiblissement R de cette paroi ?

Donnée : L'intensité sonore du seuil d'audition I_0 vaut $1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}.

- [ ] L'indice d'affaiblissement de la paroi est de 60 dB.
- [x] L'indice d'affaiblissement de la paroi est de 50 dB.
- [ ] L'indice d'affaiblissement de la paroi est de 80 dB.
- [ ] L'indice d'affaiblissement de la paroi est de 30 dB.

Source : kartable.fr

$L_{incident} = 10log\frac{I_i}{I_0} = 10log\frac{1{,}0\times10^{-4}}{1{,}0\times10^{-12}} = 80$ dB

$L_{transmis} = 10log\frac{I_t}{I_0} = 10log\frac{1{,}0\times10^{-9}}{1{,}0\times10^{-12}} = 30$ dB

$R = L_{incident} - L_{transmis} = 80 - 50 = 30\ dB$

Démonstration de l'atténuation géométrique (pour information)

Facteur de directivité :

$$\boxed{Q = \frac{I_{axe}(r)}{I_{moy}(r)}}$$

Il est Indépendant de la distance.

Indice de directivité :

$$\boxed{ID = 10\log(Q)}$$

- Il s'exprime en dB.
- Pour une source omnidirectice, $Q = 1$ et $ID = 0$ dB.

Le niveau dans l'axe de la source est

$$\begin{aligned} L_{axe} &= 10 \times \log\left[\frac{I_{axe}(r)}{10^{-12}}\right], \\ &= 10 \times \log\left[\frac{P\ \ Q}{4\pi r^2 \times 10^{-12}}\right], \\ &= 10 \times \log\left(\frac{P}{10^{-12}}\right) + 10 \times log(Q) \\ &\quad -10 \times \log(4\pi) - 10\log\left(r^2\right). \end{aligned}$$

d'où,

$$\boxed{L_{axe}(r) = L_P \ \ - 11 - 20\log r + ID}$$

En posant $L_{axe}(1\,\mathrm{m}) = L_W - 11 + ID$:

$$\boxed{L_{axe}(r) = L_{axe}(1\,\mathrm{m}) - 20\log r}$$

Exemple : Doublement de la distance

$$\begin{aligned} L_{axe}(2r) &= L_{axe}(1\,\mathrm{m}) - 20 \times \log(2r), \\ &= L_{axe}(1\,\mathrm{m}) - 20 \times \log(r) \\ &\quad -20 \times \log(2), \\ &= L_{axe}(r) - 6\,\mathrm{dB}. \end{aligned}$$