Thème : Ondes et signaux
Cours 18 : 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.

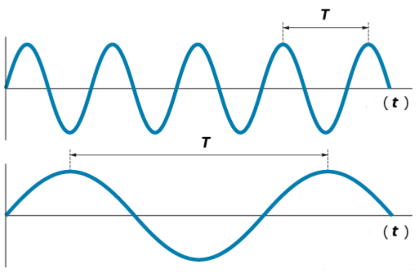
Les ondes se caractérisent par une périodicité temporelle, appelée période, notée *T* et une périodicité spatiale, la longueur d'onde, notée λ. On a la relation : $\lambda = c.T$ *T* (étant exprimée en seconde)

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.

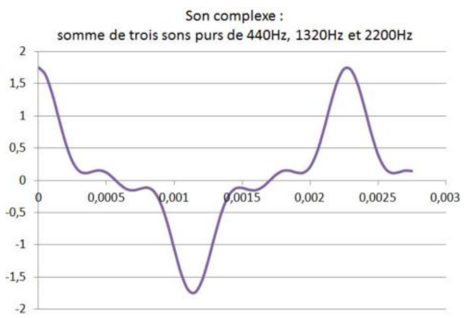
2.1. Onde sonore progressive longitudinale et sinusoïdale.



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.

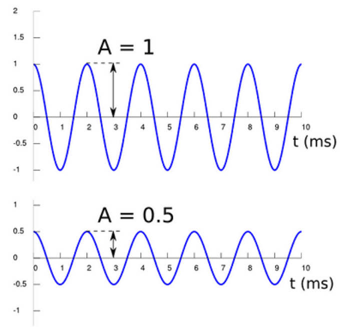
Fourier a montré que toute fonction périodique non sinusoïdale peut être décomposée en une somme de fonctions sinusoïdales. Le signal ci-dessus est donc le résultat de plusieurs fonctions sinusoïdales.

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

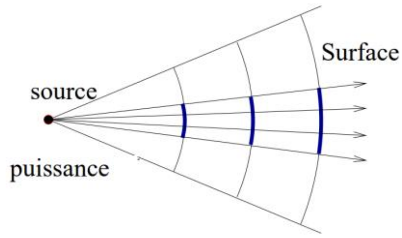
1.2. Sensation auditive – Intensité acoustique *I* ($W.m^{-2}$).

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.

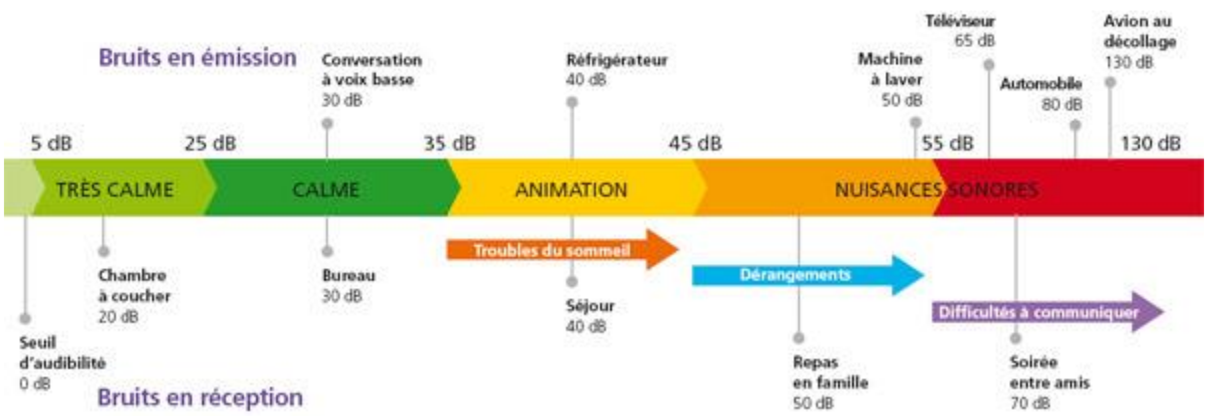
On appelle intensité acoustique (ou intensité sonore), notée *I*, la puissance acoustique reçue par unité de surface de récepteur.
Elle se mesure en watts par mètre carré (symbole : W/m²).

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

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

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

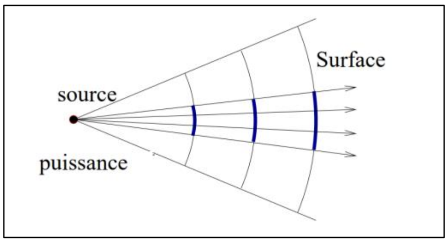
Il faudrait donc 10 000 violons (tous à 5m de l'auditeur !!!) pour endommager l'oreille de l'auditeur...

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 $S = 4 \cdot \pi \cdot R^2$

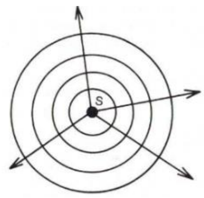
Le niveau sonore dans l'axe de la source est : $L = 10 \cdot log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$

$L_{p(r)}$ 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 : $L_{P(2r)} = L_{P(r)} - 6$

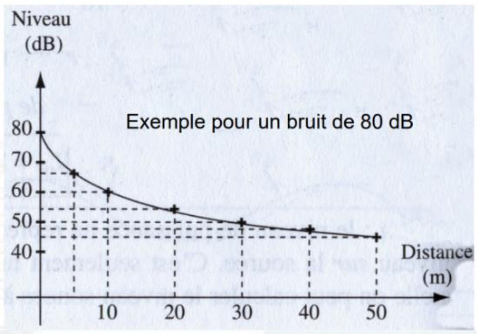


Relation identique que l'on passe de 1 à 2 m, de 2 à 4 ou de 100 à 200.

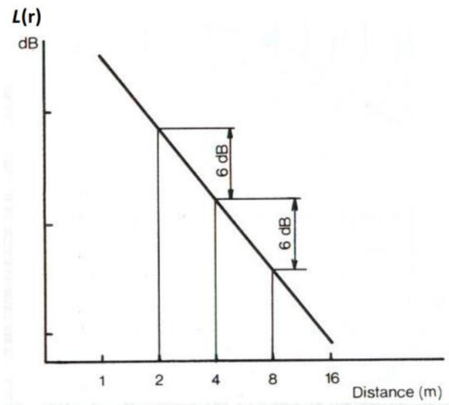
Relation indépendante de la fréquence.

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 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)



<u>Question</u> : 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.

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

Exercice d'application : L'Effet Larsen

Un chanteur se produit devant un public dans les conditions correspondant au schéma ci-dessous.

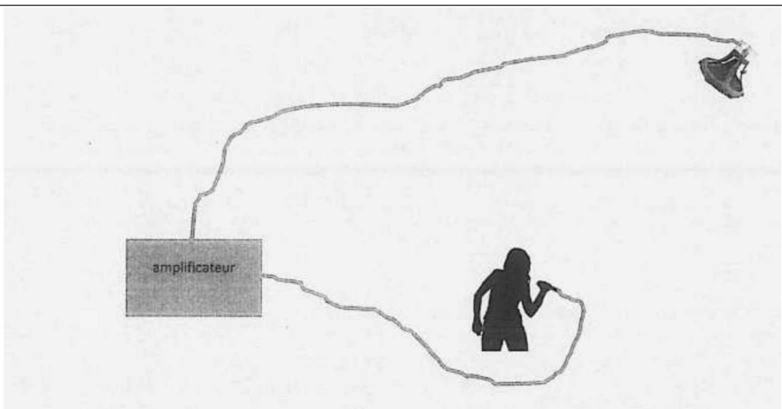
Le niveau sonore à 1,0 m du haut-parleur est de 92 dB.

La voix du chanteur a un niveau sonore de 73 dB.

Les caractéristiques du microphone utilisé sont décrites dans le document 6.

Question : Déterminer la distance minimale *d* nécessaire entre le haut-parleur et le microphone pour que l'effet Larsen soit évité.

Document 1 : L'effet Larsen ou quand le haut-parleur se met à siffler.



Cet effet se produit lorsqu'un haut-parleur et un microphone, branchés sur la même chaîne d'amplification, sont placés à proximité l'un de l'autre. Le son émis par le haut-parleur est capté par le microphone qui le retransmet amplifié au haut-parleur.

L'effet Larsen apparaît dès que le niveau sonore du le haut-parleur capté par le microphone est supérieur au niveau sonore émis directement par le chanteur ou le conférencier (un niveau sonore s'exprime en décibels (dB)).

Cette amplification en boucle (ou rétroaction) produit un signal qui augmente progressivement en intensité jusqu'à atteindre les limites de fonctionnement du matériel, pouvant même l'endommager...

Ce phénomène est fréquent dans les sonorisations de spectacle ou de conférences. Il apparaît aussi avec les combinés téléphoniques munis d'un haut-parleur et les prothèses auditives produisant un sifflement aigu très douloureux.

Document 4 : Intensité sonore et niveau sonore

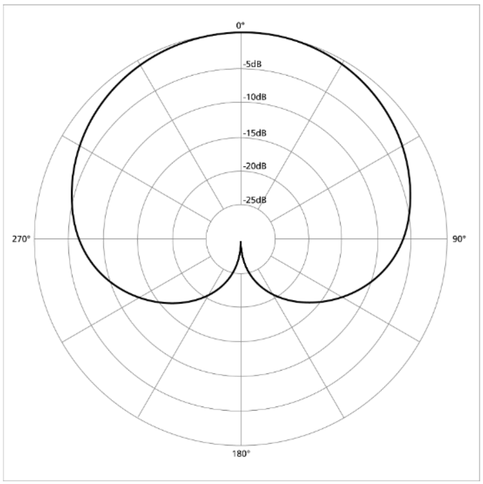
L'intensité sonore I (exprimée en $W.m^{-2}$) et le niveau sonore L (exprimé en décibels) sont liés par la relation :

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$ avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12}$ $W.m^{-2}$, intensité sonore de référence.

Document 5 : Caractéristiques du haut-parleur utilisé

Le haut-parleur utilisé ici est considéré comme omnidirectionnel : il émet des sons uniformément dans l'espace. On considérera que la puissance acoustique P (en W) est constante et qu'elle vérifie la relation : $\mathbf{P = 4\pi d^2 I}$ avec I, intensité sonore en $W.m^{-2}$ et d, distance entre le haut-parleur et le microphone en m.

Document 6 : Caractéristiques du microphone utilisé



Le microphone utilisé ici est de type cardioïde, donc directionnel.

Il capte essentiellement les sons venant dans la direction de son axe.

Si le son vient d'une direction faisant un angle avec son axe, le son reçu par le microphone est atténué d'un certain nombre de décibels.

Par exemple, si un son arrive avec un angle de 60° par rapport à l'axe du microphone, il sera atténué de 3 dB.

<u>Données :</u> Pour d = 1,0 m, L_{HP} = 92 dB
Niveau sonore du chanteur : L_C = 73 dB
Angle de 90° entre l'axe du micro et le haut-parleur.

Que nous apprennent les documents ?
<u>Doc.1 :</u> L'effet larsen apparaît dès que le niveau sonore L du haut-parleur capté par le microphone est supérieur au niveau sonore émis directement par le chanteur L_C (= 73 dB).
<u>Doc 4 :</u> $I = I_0.10^{L/10}$
<u>Doc.5 :</u> P = Cte = $4\pi.d^2.I$ où d est la distance entre le haut-parleur et le microphone.
Donc si d augmente alors I diminue.
<u>Doc 6 :</u> Pour un angle de 90°, le son capté par le micro est atténué d'environ 6 dB par rapport au son.
Le niveau sonore L du haut-parleur capté par le micro est atténué de 6 dB. Il faut donc que L_X soit de L_C + 6 = 79 dB.

L'effet larsen se produit si L_X > 79 dB.
Soit si $I > I_0.10^{L_X/10}$
$I > 10^{-12} \times 10^{7,9}$
$\mathbf{I > 10^{-4,1}\ W.m^{-2}}$
On cherche la distance d entre le micro et le haut-parleur qui correspond à cette intensité sonore.

La puissance acoustique du haut-parleur est constante, elle s'exprime par $P = 4\pi.d^2.I$.
Puissance à 1,0 m = Puissance à d m
$4\pi.1,0^2 \times I(1m) = 4\pi.d^2.I$
$I(1m) = d^2.I$
Pour d = 1,0 m, L_{HP} = 92 dB ; donc $I(1m) = I_0.10^{92/10} = 10^{-12} \times 10^{9,2} = 10^{-2,8}\ W.m^{-2}$
$10^{-2,8} = d^2.I$

$I = \dfrac{10^{-2,8}}{d^2}$ Si d augmente, on vérifie que I diminue.

$$\frac{10^{-2,8}}{d^2} > 10^{-4,1}$$

$$\frac{10^{-2,8}}{10^{-4,1}} > d^2$$

$10^{1,3} > d^2$

$$\sqrt{10^{1,3}} > d$$

L'effet Larsen se produit si **d < 4,5 m.**

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

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

d'où,

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

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

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

Exemple : Doublement de la distance

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