

## L'ACOUSTIQUE

### ➤ **Présentation**

Le son est une onde acoustique.

Cette onde est sphérique : l'énergie qu'elle transporte se répartie sur des sphères centrées sur la source du son.

Cette onde est aussi longitudinale : la direction de déformation de la perturbation est parallèle à la direction de propagation.

Une onde se propage à une certaine vitesse (célérité  $c$ ).

- dans le vide, le son ne se propage pas,
- dans l'air,  $c = 330 \text{ m.s}^{-1}$
- dans l'eau,  $c = 1300 \text{ m.s}^{-1}$

### ➤ **Grandeurs acoustiques**

#### 1) **Pression acoustique**

Au passage de l'onde sonore, il se produit une compression suivie d'une dépression. On note  $p$  la surpression maximale au passage de l'onde

#### 2) **Puissance acoustique**

C'est la puissance transportée par l'onde acoustique

Remarque: en cas de propagation « libre » (sans obstacle), cette puissance se répartie sur des sphères de plus en plus grandes et la puissance par unité de surface diminue.

#### 3) **Intensité acoustique**

L'intensité acoustique correspond à la puissance acoustique par unité de surface. Si la puissance acoustique est uniformément répartie sur une surface  $S$ , on :

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

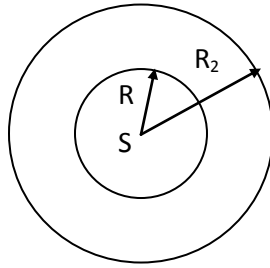
$W$  : puissance acoustique en  $W$ .

$I$  : intensité acoustique en  $W.m^{-2}$ .

$S$  : surface en  $m^2$ .

Cas de la propagation libre

Soit une source sonore S émettant un son de manière isotrope ( de même intensité dans toutes les directions de puissance W .



L'intensité acoustique pour un point de la sphère de rayon R, vaut :  $I_1 = \frac{W}{4\pi R_1^2}$

Pour une sphère de rayon  $R_2$ , l'intensité vaut :  $I_1 = \frac{W}{4\pi R_1^2}$

I décroît en  $\frac{1}{R^2}$ .

Remarque : I est proportionnelle à la surpression au carré,  $p^2$ . Donc p décroît en  $\frac{1}{R}$ .

#### 4) Fréquence

Un son se caractérise par sa **fréquence f** en **Hertz**. On classe les sons selon leur fréquence :

- Graves : de 20 à 200 Hz ;
- Médiuns : de 200 à 2000 Hz ;
- Aigus : de 2000 à 20 000 Hz.

En acoustique, on utilise des domaines de fréquences appelées **octaves**. Une octave est une plage de fréquence du type  $[f_0 ; 2f_0]$ .

Exemple : [20 Hz ; 40 Hz] ; [1000 Hz ; 2000 Hz]

Monter d'une octave, c'est multiplier la fréquence par 2. Descendre d'une octave, c'est diviser la fréquence par 2. Pour une octave en acoustique, on ne donne pas les bornes mais la fréquence centrale. Par exemple, l'octave à 250 Hz, c'est l'octave  $[\frac{250}{\sqrt{2}} ; 250 \times \sqrt{2}]$ .

Enfin la fréquence est reliée à la longueur d'onde  $\lambda$  par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ou} \quad \lambda = c \times T$$

$\lambda$  en m ;

c en  $\text{m.s}^{-1}$  ;

f en Hz.

#### ➤ Niveaux sonores

## 1) Loi de Weber-Fechner

« Nos impressions sonores varient selon une progression arithmétique quand les excitations physiques qui en sont la cause varient selon une progression géométrique. »

Exemple : Quand la pression acoustique varie de 1 à 10, l'impression sonore varie de 0 à 1.

Quand la pression acoustique varie de 10 à 100, l'impression sonore varie de 1 à 2.

On va utiliser la fonction log.

## 2) Niveaux acoustiques

### a- Niveau d'intensité acoustique

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

$I$  : intensité acoustique au point considéré ( $\text{W.m}^{-2}$ ) ;

$I_0$  : intensité acoustique de référence  $I_0 = 1.10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  ;

$L_I$  : niveau d'intensité acoustique au point considéré qui s'exprime en décibel (dB).

Remarque : pour une oreille humaine,  $I_0$  représente le seuil minimal d'audibilité à 1000 Hz. Pour  $I = I_0$ ,  $L_I = 0 \text{ dB}$ .

### b- Niveau de pression acoustique

$$L_p = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

$P$  : pression acoustique au point considéré en Pa;

$P_0$  : pression acoustique de référence  $P_0 = 2.10^{-5} \text{ Pa}$ .

$L_p$  est le niveau de pression acoustique au point considéré et s'exprime en dB.

Remarque : Quand  $I = I_0$  alors  $P = P_0$  ... On a alors  $L_I = L_p$ . On utilise plutôt  $L_p$ .

On parle alors de niveau sonore sans préciser d'intensité ou de pression.

### c- Niveau de puissance acoustique

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$$

$W$  : puissance acoustique de la source en W;

$W_0$  : puissance acoustique de référence  $W_0 = 1.10^{-12} \text{ W}$ .

$L_w$  est le niveau de puissance acoustique de la source et s'exprime en dB.  
 $L_w$  est réservé à la source car on ne peut pas mesurer une puissance acoustique en un point.

### 3) Perception des sons

L'oreille n'entend pas avec une même intensité les sons selon la fréquence. On utilise le **dB pondéré** noté **dB(A)**.

Bandes d'octaves	125	250	500	1000	2000	4000
Correction en dB	-16	-8	-3	0	+1	+1

Exemple : pour un son à 500 Hz de niveau sonore égal à 60 dB, l'oreille l'entend comme un son d'intensité 57 dB.

### 4) Addition de niveaux sonores

Quand des sons coexistent, on ne peut pas ajouter directement les niveaux sonores. On peut par contre ajouter les intensités acoustiques ou les pressions acoustiques au carré.

Exemple : soient 2 sources de bruit, l'une crée un son de niveau sonore  $L_{I1} = 80$  dB, l'autre un son de niveau sonore  $L_{I2} = 82$  dB. Quel est le niveau sonore total ?

$$L_I = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$\frac{L_{I1}}{10} = \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$10^{\frac{L_{I1}}{10}} = \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_{I1}}{10}}$$

De la même manière,

$$I_2 = I_0 \times 10^{\frac{L_{I2}}{10}}$$

L'intensité acoustique totale vaut :

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = I_0 \left( 10^{\frac{L_{I1}}{10}} + 10^{\frac{L_{I2}}{10}} \right)$$

D'où un niveau sonore global :

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{I1}}{10}} + 10^{\frac{L_{I2}}{10}} \right) = 10 \log (10^8 + 10^{8.2}) = 84.1 \text{ dB}$$

## 5) Bruits normalisés

Dans certaines conditions, on utilise des bruits normalisés,

### ➤ Acoustique du bâtiment

#### 1) Espace libre

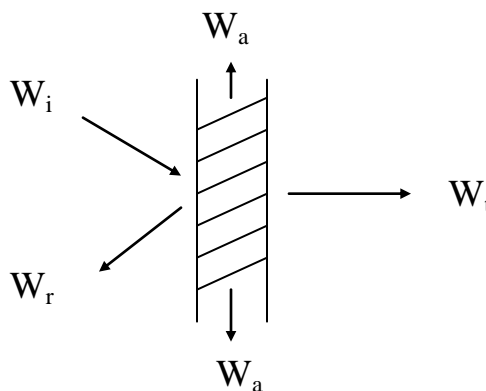
Soit une source sonore de niveau de puissance acoustique  $L_w$ .  
Soit  $L_p$  le niveau sonore à la distance  $r$  de la source.

On a:  $L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2$ .

#### 2) Dans un local

##### a- Aire équivalente d'absorption

Soit une onde sonore arrivant sur une paroi.



$W_i$ : puissance acoustique incidente ;

$W_r$ : puissance acoustique réfléchie ;

$W_a$ : puissance acoustique absorbée ;

$W_t$ : puissance acoustique transmise.

Le coefficient d'absorption vaut  $a = \frac{W_a + W_t}{W_i}$

Ce coefficient dépend de :

- l'épaisseur de la paroi ;

- la nature de la paroi ;
- la fréquence.

a est sans unité.

Exemples :

	250 Hz	1000 Hz
marbre	0.01	0.01
vitrage	0.25	0.12
moquette	0.3	0.5

Aire équivalente d'absorption d'un local ou d'un objet :

C'est la valeur de l'aire d'une paroi parfaitement isolante ayant la même absorption acoustique que la paroi ou l'objet considéré.

Exemple : soit un plafond de surface  $S = 90\text{m}^2$ , de coefficient d'absorption  $a = 0.2$ , son aire équivalente d'absorption vaut  $A = 0.2 \times 90 = 18\text{m}^2$

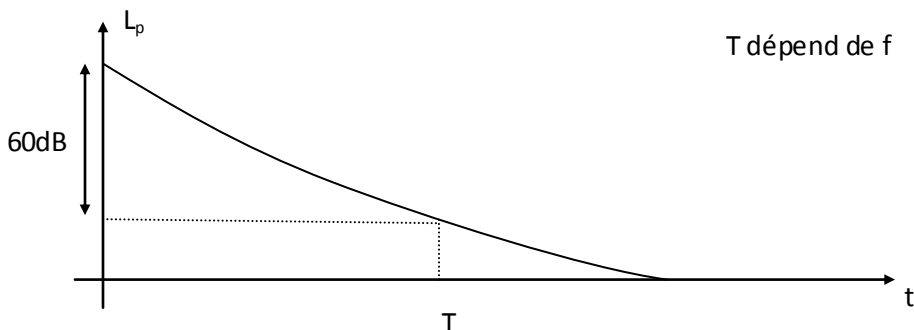
L'aire équivalente d'absorption d'un local c'est la somme des aires équivalentes des parois et objets du local (sol, plafond, murs, meubles).

Pour augmenter cette aire, on utilise des matériaux absorbants (moquettes ...) ou on change la forme des murs.

#### b- Temps de réverbération

Si l'on émet un son bref dans un local, on constate que le son persiste quelques secondes à cause de la réverbération du local.

Le **temps de réverbération** est le temps que met un son pour que son niveau sonore diminue de 60 dB, l'intensité acoustique est divisée par  $10^6$ .



T diminue quand l'aire équivalente d'absorption du local augmente.

**Remarque :** pour une salle de concert, T est assez grand (1.5 s); pour une salle de cinéma, T est petit (0.5s).

c- La formule de Sabine

Soit un local de volume V et d'aire équivalente d'absorption A. Son temps de réverbération vaut :

$$T = \frac{0.16 \times V}{A}$$

V en m<sup>3</sup> ; A en m<sup>2</sup> ; T en s.

d- Champ réverbéré

Lorsqu'une source sonore est dans un local, une partie du son qu'elle émet se réfléchit sur les parois. Il y a création d'un champ réverbéré qui s'ajoute au champ direct. Le niveau de pression acoustique (en dB) du champ réverbéré vaut :

$$L_{pr} = L_w + 6 - 10 \log A$$

$$L_{pr} = L_w + 10 \log \frac{4}{A}$$

L<sub>w</sub> est le niveau de puissance acoustique de la source et s'exprime en dB.

A : aire équivalente d'absorption de la pièce en m<sup>2</sup>.

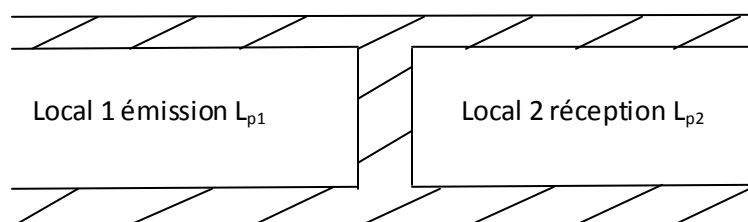
**Remarques :**

- le champ réverbéré a le même niveau sonore en tout point de la pièce.
- pour améliorer l'acoustique d'une pièce, on ne peut modifier que le champ réverbéré : on ne tient compte que du champ réverbéré.

De même, si l'on suppose que la réverbération est prépondérante

3) **Isolation entre locaux**

Soit deux locaux séparés par une paroi



$L_{p2}$  est dû à la transmission du bruit du local 1 vers le local 2.

a- Isolation brute

$$D_n = L_{p1} - L_{p2}$$

Cette isolation ne concerne que les bruits aériens (transmis par l'air et la paroi). Les bruits peuvent être aussi des bruits d'impacts (choc contre un mur) qui se propagent plus facilement.

L'isolation brute est peu précise pour juger de l'efficacité d'une paroi car elle ne tient pas compte de la réverbération du local 2.

b- Isolation normalisée

Elle tient compte de la réverbération.

$$D_n = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log \frac{T}{0.5}$$

T : temps de réverbération du local de réception.

c- Indice d'affaiblissement

Cet indice, mesuré en laboratoire, permet de déterminer la valeur acoustique propre de la paroi.

R est lié au **coefficient de transmission**

$$\tau = \frac{W_t}{W_i}$$

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

$\tau$  n'a pas d'unité

R est en dB

Pour une paroi composée de plusieurs éléments (cloison, porte, fenêtre...)

Soient  $S_1, S_2, \dots, S_k$  les surfaces des k éléments composant la paroi et  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k$  leur coefficient de transmission respectifs.

Le coefficient de transmission global de la paroi vaut :

$$\tau = \frac{\tau_1 \times S_1 + \tau_2 \times S_2 + \dots + \tau_k \times S_k}{S_1 + S_2 + \dots + S_k}$$

Calcul du niveau sonore  $L_{p2}$  dans le local de réception.

$$L_{p2} = L_{p1} - R - 10 \log \frac{A}{S}$$



$L_{p1}$  : niveau sonore dans le local d'émissions en dB ;

R : indice d'affaiblissement de la paroi entre les 2 locaux en dB.

A : aire équivalente d'absorption du local de réception en  $m^2$

#### d- Loi de masse

Plus une paroi est pesante, plus elle isole des bruits aériens.

Soit une paroi d'épaisseur constante e et de masse volumique  $\rho$ .

Une surface S de cette paroi a alors une masse

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = \rho \cdot e \cdot S$$

$$m = S \cdot (\rho \cdot e)$$

On a alors  $m = S \cdot \sigma$  avec  $\sigma = \rho \cdot e$

$\sigma$  est la **masse surfacique** en  $kg \cdot m^{-2}$  ou  $kg/m^2$

**Loi de masse** : l'indice d'affaiblissement R d'une paroi est donné par :

$$R = 20 \log(F \times \sigma) - 47 \text{ (ou 46)}$$

R en dB.

F est la fréquence du son en Hz.

