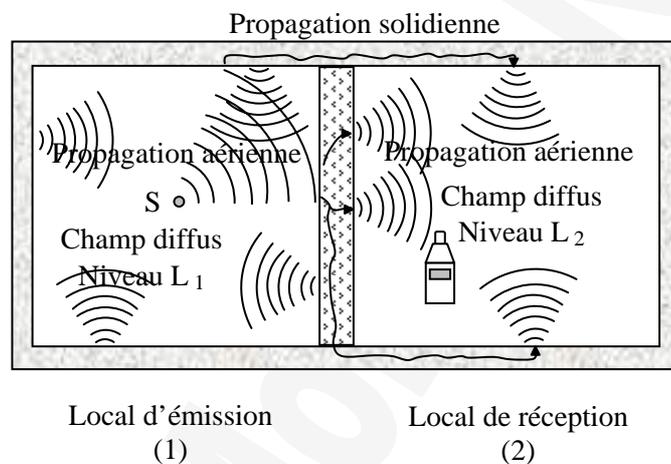


# Chapitre 4

## Isolation acoustique des locaux

### ISOLEMENT NORMALISE

#### ► Isolement brut entre deux locaux



Soient deux locaux, séparés physiquement par un obstacle (cloison, mur, ..).

Une source sonore rayonne dans le local (1) appelé, alors, local d'émission et parvient dans le second local appelé local de réception, après propagation aérienne puis solidienne suivie d'une nouvelle propagation aérienne.

Les niveaux de pression acoustique dans ces locaux sont respectivement  $L_1$  et  $L_2$  ( $L_1 > L_2$ ).

Les niveaux mesurés ne dépendent pas de la position de la source sonore (local 1) ou du sonomètre (local 2) puisque le champ réverbéré est prépondérant dans les deux locaux.

L'isolement brut  $D_b$  entre les deux locaux s'écrit :  $D_b = L_1 - L_2$

Cet isolement brut dépend de la fréquence ; il est donc préférable de le mesurer dans des bandes d'octave normalisées.

#### ► Isolement normalisé entre deux locaux

Le niveau de pression mesuré dans chaque local dépend bien entendu de la réverbération que présente ce local. Par exemple, si un local de réception est très sonore (son temps de réverbération est alors important), le bruit transmis dans ce local apparaît « renforcé » par la réverbération et le niveau de pression mesuré s'en trouve plus élevé.

L'acousticien a donc été amené à retrancher du niveau sonore mesuré dans le local de réception un terme correctif égal à  $10 \log \frac{T_2}{T_1}$  où  $T_2$  représente le temps de réverbération du local de réception et  $T_1$  le temps de

réverbération moyen d'un local d'habitation soit  $T_1 \cong 0,5 \text{ s}$ . On définit alors l'isolement normalisé entre les deux locaux :

$$D_n = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T_2}{0,5} \quad D_n \text{ en dB (pour une fréquence donnée)}$$

Cette normalisation permet de comparer l'isolement donné par diverses parois même si elles sont placées dans des conditions différentes.

*Remarque* : En anglais Noise Reduction (NR)

## AFFAIBLISSEMENT D'UNE PAROI

Au laboratoire, le fabricant d'un matériau isolant se doit de mesurer de façon **intrinsèque** la capacité isolante d'une paroi, c'est-à-dire indépendamment de son environnement.

### ► Coefficient de transmission d'une paroi

Soit  $\tau$  le coefficient de transmission d'une paroi homogène ; on a :

$$\tau = \frac{\text{énergie transmise par unité de surface}}{\text{énergie incidente par unité de surface}}$$

(pour une fréquence donnée)

### ► Indice d'affaiblissement d'une paroi

La capacité isolante d'une paroi s'exprime à l'aide d'un indice d'affaiblissement acoustique noté R (sans dimension).

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad R \text{ en dB}$$

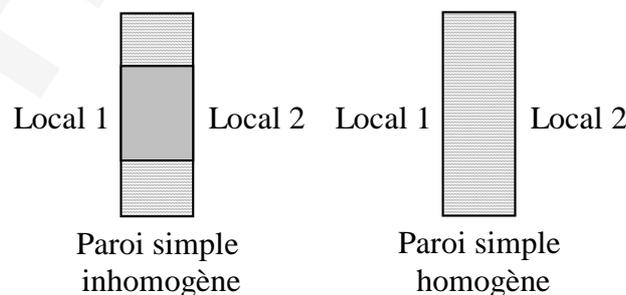
R dépend également de la fréquence et doit, de préférence, être analysé dans des bandes d'octave normalisées.

### ► Cas d'une paroi simple ou composée

Les parois séparant des locaux sont rarement homogènes. Si la paroi est inhomogène (cloison percée d'une porte par exemple), il faut remplacer  $\tau$  par le coefficient de transmission moyen calculé de la façon suivante :

$$\tau_{\text{moy}} = \frac{S_a \tau_a + S_b \tau_b + \dots}{S_a + S_b + \dots} \quad (\text{pour une fréquence donnée})$$

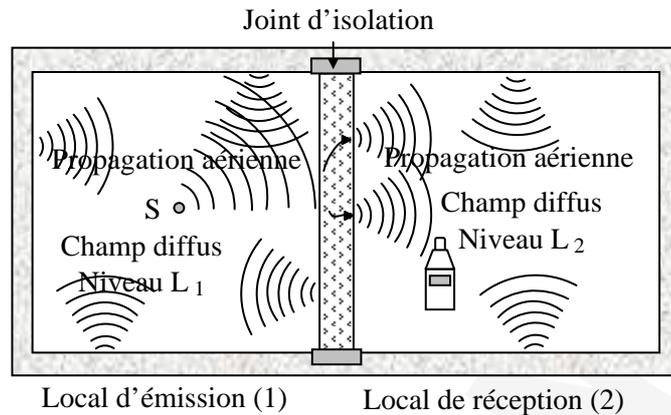
$S_a, S_b, \dots$  étant les surfaces des parties de la paroi composée de matériaux de coefficients de transmission  $\tau_a, \tau_b, \dots$



Vues de dessus des coupes de deux parois

► **Relation entre R et l'isolement brut**

Cet indice se mesure entre deux chambres réverbérantes séparées par la paroi à étudier. Pour éviter les transmissions latérales, on fixe cette paroi à l'aide de joints d'isolation.



Si on se place en des lieux suffisamment éloignés de la paroi, on peut négliger le champ direct au profit du champ réverbéré dans les deux locaux.

Si le son est diffus dans le local d'émission, on démontre que le flux d'énergie arrivant sur la paroi s'écrit :  $\frac{I_{R1}}{4}$ .

Le flux d'énergie transmis par la paroi s'écrit alors :  $\tau \frac{I_{R1}}{4}$  qui se comporte alors, pour le local de réception comme une source secondaire de bruit de puissance  $\tau \frac{I_{R1}}{4} \times S_p$  ( $S_p$  est la surface de la paroi)

$\tau$  : coefficient de transmission de la paroi

Le champ réverbéré, dans le local de réception, s'écrit alors :  $I_{R2} = \frac{4 P'}{A_2}$  (si le coefficient d'absorption moyen ne dépasse pas 0,2).

avec  $A_2 = S_2 \bar{\alpha}$  : surface d'absorption équivalente du local de réception.

D'autre part, on a :  $D_b = 10 \log \frac{I_{R1}}{I_{R2}}$  avec :  $\frac{I_{R1}}{I_{R2}} = \frac{A_2}{S_p \tau}$

$$D_b = L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2}{S_p} \quad (\text{pour une fréquence donnée}) \quad \text{en posant : } R = 10 \log \frac{1}{\tau}$$

$A_2$  : surface équivalente du local réception ;  $S_p$  : surface de la paroi

*Remarque* : Lorsqu'il n'y a pas de paroi entre les deux locaux mais seulement un rétrécissement de surface S, on peut encore utiliser cette relation :

$$L_1 - L_2 = 10 \log \frac{A_2 + S_r}{S_r} \quad (S_r : \text{surface du rétrécissement})$$

*Remarque* : Sur un chantier, les transmissions latérales ne permettent pas de mesurer R mais seulement  $D_n$ . Cette dernière grandeur est dépendante des deux locaux contigus alors que R est intrinsèquement lié à la paroi étudiée.

La formule de Sabine permet de relier l'isolement normalisé  $D_n$  mesuré sur le chantier et l'indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi.

On a, en effet, une relation entre  $T_2$  et  $A_2$  grâce à la formule de Sabine :  $T_2 = \frac{0,16 V_2}{A_2}$  de sorte que l'on obtient dans le cas « usuel » où  $T_2 = 0,5$  s :

$$D_n = R + 10 \log \frac{0,32 V_2}{S_p}$$

## LOI DES MASSES ET DES FREQUENCES

### ► Expression théorique

Le coefficient de transmission d'une paroi dépend bien entendu de la fréquence de l'onde sonore incidente. Si l'onde incidente est normale à la paroi, on montre que  $\tau$  s'écrit :

$$\tau = \frac{1}{1 + \left( \frac{\mu f}{\rho_0 c_0} \right)^2}$$

$\mu$  : masse surfacique de la paroi (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$f$  : fréquence de l'onde incidente arrivant sur la paroi (en Hz).

$\rho_0 c_0$  : impédance acoustique de l'air (en  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Compte tenu de l'expression de  $\tau$ , on obtient :  $R = 10 \log \left( 1 + \left( \frac{\mu f}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right)$

Comme le terme  $\frac{\mu f}{\rho_0 c_0}$  est grand devant 1, on peut admettre que  $\log \left( 1 + \left( \frac{\mu f}{\rho_0 c_0} \right)^2 \right) \cong \left( \frac{\mu f}{\rho_0 c_0} \right)^2$

On obtient, alors :  $R = 10 \log \left( \frac{\mu f}{\rho_0 c_0} \right)^2 = 20 \log \mu f - C^{\text{te}}$  (Loi des masses et des fréquences)

*Maths* :  $\log(1 + \varepsilon) \cong \varepsilon$  si  $\varepsilon \ll 1$

Cette relation établit la loi dite « loi de masse et de fréquence » pour une paroi simple.

*Remarque* : Dans la pratique, l'onde incidente n'étant pas normale à la paroi, on prend plutôt :

$$R = 20 \log(\mu f) - 47 \text{ dB} \quad (\text{relation empirique})$$

Si la fréquence de l'onde sonore double ou si la masse surfacique de la paroi double, l'indice d'affaiblissement s'accroît de 6 dB.

### ► Diagramme d'atténuation d'une paroi homogène

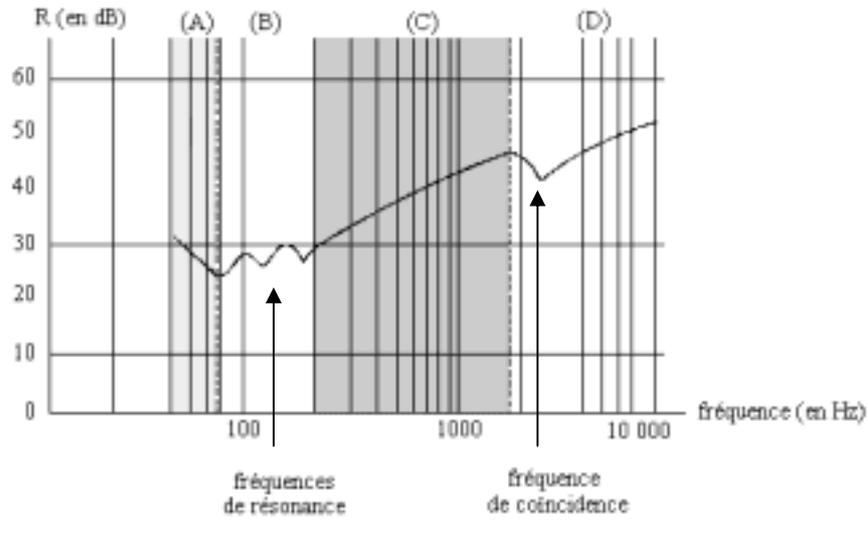
Les calculs précédents sont insuffisants car une paroi possède, comme un ressort, une certaine raideur; elle se comporte aussi comme un résonateur à certaines fréquences. De plus, son élasticité entraîne l'existence d'une fréquence critique (encore appelée fréquence de coïncidence) pour laquelle l'indice d'affaiblissement présente un minimum bien marqué.

La courbe donnant l'indice d'affaiblissement acoustique en fonction de la fréquence présente souvent l'allure indiquée sur la figure ci-dessous.

La loi des masses et des fréquences est bien respectée dans la zone (C) :

on gagne 6 dB d'atténuation en passant d'un octave à l'autre

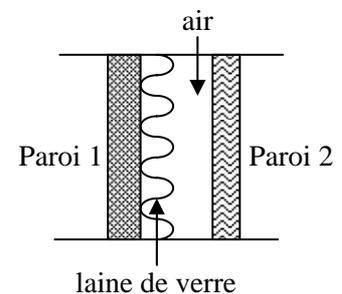
on gagne 6 dB d'atténuation chaque fois que l'on double la masse surfacique de la paroi (à une fréquence donnée)



Pour diminuer le défaut d'isolement qui apparaît à certaines fréquences, on est parfois conduit à utiliser une paroi double de préférence à une paroi simple.

## LA DOUBLE PAROI

Une paroi double comporte deux parois situées à une certaine distance  $d$  l'une de l'autre afin qu'il n'y ait pas de liaison entre elles ; de l'air sépare les deux parois.



### ► Règles de construction d'une double paroi

- les deux parois ne doivent pas avoir les mêmes fréquences de résonance ni la même fréquence critique pour ne pas ajouter leurs défauts. Si elles sont constituées du même matériau, elles ne devront pas avoir la même épaisseur.
- on cherche à diminuer l'élasticité et à augmenter l'amortissement de chaque paroi en soignant particulièrement leur maintien en périphérie.
- la distance séparant les deux parois est au moins égale à 10 cm afin de réduire le couplage entre les deux parois.
- il n'est toléré aucun « pont phonique » comme des clous, ou du ciment entre les deux parois.

### ► Calculs de l'indice d'affaiblissement d'une double paroi

$R_1 = -10 \log \tau_1$  : indice d'affaiblissement de la paroi 1

$R_2 = -10 \log \tau_2$  : indice d'affaiblissement de la seconde paroi

$R$  : indice d'affaiblissement théorique total de la double paroi :

$$R = R_1 + R_2 \quad \text{ou} \quad \tau_{\text{total}} = \tau_1 \times \tau_2$$

**Remarque** : En fait, l'addition des indices d'affaiblissement ne serait vraie que si les deux parois étaient très éloignées l'une de l'autre, le couplage serait alors pratiquement nul et les deux isolements s'additionneraient !

Pour une double paroi, dans les faits, et si les règles énoncées ci-dessus sont bien respectées, l'isolement d'une double paroi peut être estimée par la formule empirique suivante :

$$R = R_1 + 0,6 R_2$$

**Remarque** : On peut généraliser ce que l'on obtient pour deux parois à un nombre quelconque de parois.

☞ La fréquence de résonance  $f_0$  de la double paroi est parfois gênante car l'affaiblissement acoustique, à cette fréquence, présente un minimum assez marqué.

$$f_0 = 84 \sqrt{\left(\frac{1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2}\right) \frac{1}{d}}$$

$\mu_1$  et  $\mu_2$  sont les masses surfaciques des deux parois.

$d$  : distance entre les deux parois.

On s'arrange pour choisir des distances  $d$  et des masses surfaciques telles que  $f_0$  soit rejetée vers les fréquences basses (hors de la zone d'audibilité).

**Rappel** : A intensité égale et à durée égale, un son pur est plus traumatisant qu'un son complexe.