

## 1 Champ lexical

- Bruit, musique, son >>> Rôle du cerveau dans la perception
- onde, vibration, transmission, vitesse du son >>> Mécanisme physique
- niveau acoustique, source sonore, dB, dBA >>> Mesure ou création du son
- Bruit rose, bruit blanc Test pour la réponse d'une salle
- réverbération, écho >>> Effet de l'environnement sur le son
- amplificateur), absorption. >>> Traitement de l'ambiance sonore

## 2 Phénomène physique, transmission du son

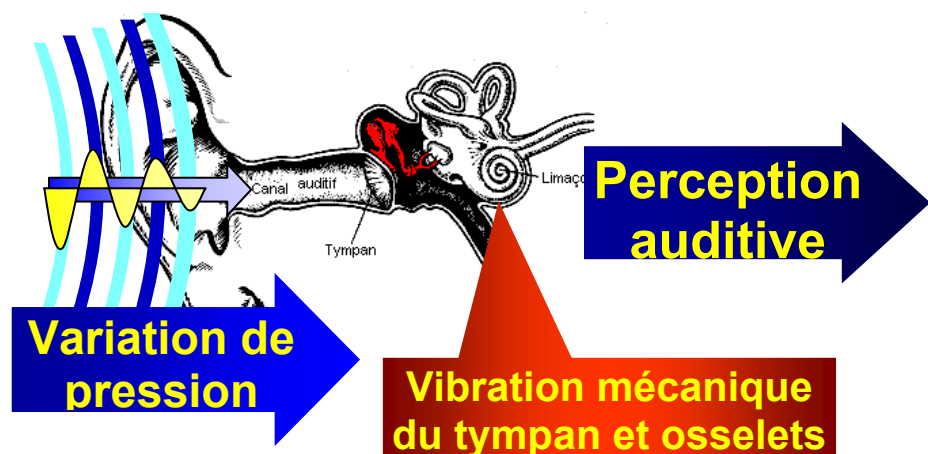
### 2.1 Nature du son

Qu'est-ce que le son ? *Est-ce un phénomène physique? OUI*

Le son correspond à une vibration mécanique de l'air. Il s'agit d'une oscillation de chaque petit volume d'air autour de sa position d'équilibre.

Le son est capté par l'oreille.

## Perception d'un bruit



Qu'est-ce que le son ?

*C'est aussi un phénomène de perception par le cerveau provoqué par une source physique.*

### 2.2 Exemples de phénomènes vibratoires

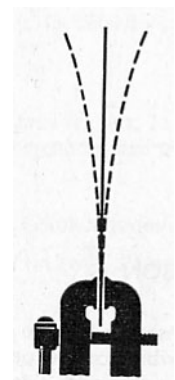
Lame de scie encastrée, vibrant autour de sa position d'équilibre

Suivant la valeur des paramètres du système, les vibrations sont différentes.

Grande règle >> vibrations « lentes »

Règle courte >> fréquence plus haute

Les vibrations s'amortissent (diminution de l'amplitude avec le temps, due aux frottements), sans modification de la fréquence.



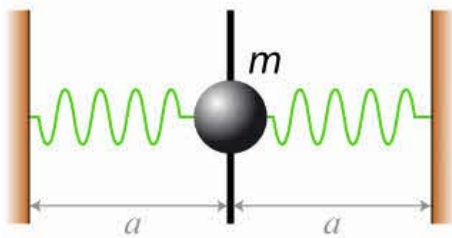
**Système masse suspendue à un ressort**, vibrant autour de sa position d'équilibre



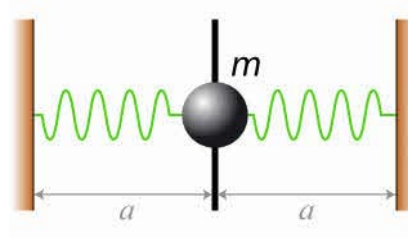
Position d'équilibre



**Système masse attachée à des ressorts**, vibrant autour de sa position d'équilibre



Position d'équilibre



### 2.3 Mécanisme de transmission du son

Le son se propage dans l'air.

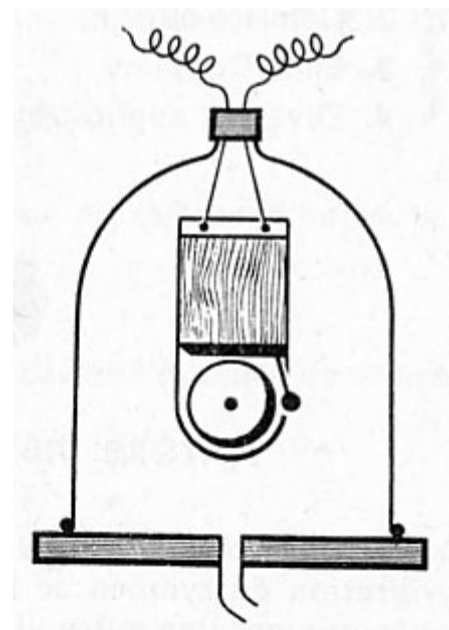
#### Expérience de la cloche à vide :

Pour étudier ce phénomène, des physiciens ont installé une sonnerie dans une cloche en verre dans laquelle on fait progressivement le vide avec une pompe à vide.

Au fur et à mesure que l'air de la cloche se raréfie, le son perçu à l'extérieur s'atténue, puis s'éteint.

C'est donc que l'air participe à la transmission du son de la sonnerie vers l'extérieur.

**L'air est le support physique de la transmission du son.**



## Propagation d'une onde :

Une onde est la propagation d'une perturbation produisant sur son passage une variation des propriétés physiques locales.



Caillou à la surface de l'eau



Effet Domino

D'après les exemples qu'on vient de voir, une onde c'est donc :

- une perturbation ponctuelle d'un milieu (de l'eau par exemple, ou de l'air)
- qui se propage de proche en proche (effet domino)
- **sans transport global de matière (uniquement transfert d'énergie)**

### 2.4 Vitesse du son (dans l'air)

Le son se propage dans l'air à **340 m/s**.

- Calcul de la distance de chute d'un éclair, entendu après 3 secondes :
  - **$3 * 340 = 1020 \text{ m}$ .**

### 2.5 Atténuation de l'onde sonore

Géométriquement, le volume (ou la longueur) perturbée par l'onde augmente au cours de sa progression.

Caillou à la surface de l'eau : **Si la distance au centre double, le périmètre de la vague double. Donc l'énergie par unité de longueur de vague est divisée par 2.**

Explosion en hauteur dans l'air (bruit en champ libre) : **Si la distance au point double, la surface du front d'onde est multipliée par 4. Donc l'énergie par unité de surface de front d'onde est divisée par 4. L'énergie sonore est donc divisée par 4 à chaque fois que la distance double.**

**Lorsque l'on s'éloigne de la source sonore, le niveau du son diminue.**

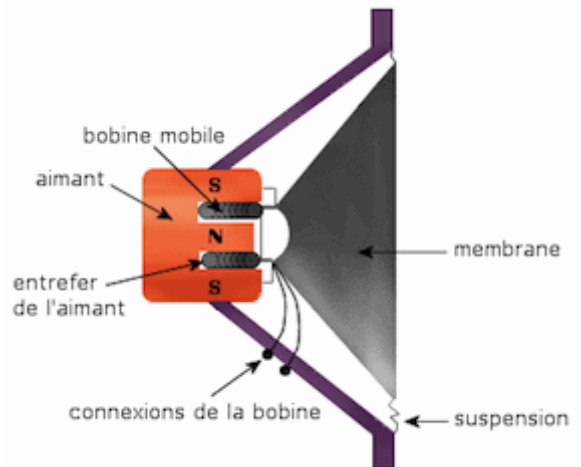
## 2.6 Fonctionnement d'un haut-parleur

Dans un haut-parleur, une membrane est fixée sur une bobine magnétique (un enroulement de fils électriques en hélice sur un cylindre).

Cette bobine est mobile et lorsqu'elle est traversée par un courant (celui qui vient d'un lecteur de CD ou d'un amplificateur) elle bouge dans l'aimant au rythme du courant électrique, entraînant ainsi la membrane.

C'est la membrane qui produit finalement le son en « poussant » l'air devant elle.

La membrane crée de minuscules variations de pression dans l'air immédiatement devant elle, qui se propagent ensuite plus loin.

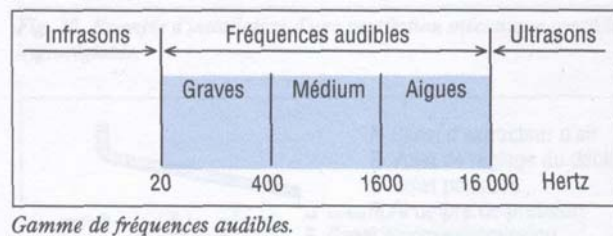


## 3 Caractérisation et mesure du son

### 3.1 Gamme de fréquence

D'une façon générale, les bruits ne sont pas des sons purs, mais des mélanges de sons de multiples fréquences.

L'oreille humaine entend de 20 à 16 kHz, et est la plus sensible autour 1000 Hz.



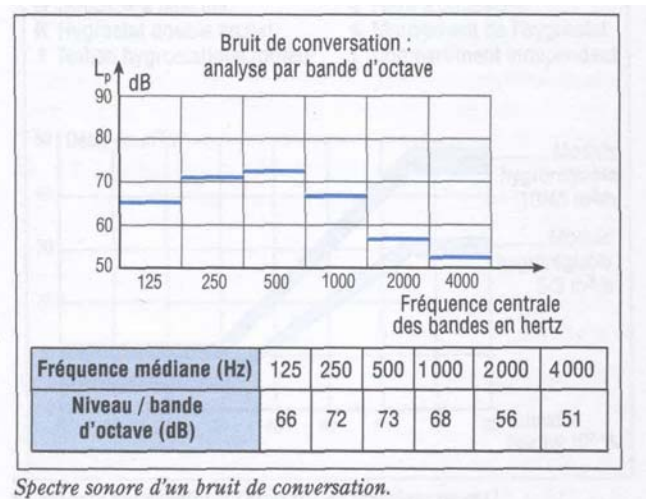
### 3.2 Analyse par bandes d'octave

Des bandes d'octaves normalisées sont utilisées, et l'on travaille avec le niveau sonore mesuré dans chaque bande d'octave.

Les bandes d'octave 8000Hz (5657 à 11314 Hz) et 62.5Hz (44 à 88 Hz) ne sont pas prises en compte.

Le niveau sonore global est la « somme » des niveaux dans chaque bande.

Mais ce cumul n'est pas une simple « somme ».



### 3.3 Expression du niveau sonore $L_p$

Le niveau sonore correspond à l'**intensité acoustique** au point considéré, exprimée en  $W/m^2$ . C'est une échelle logarithmique qui est utilisée.

Le niveau acoustique se note  $L_p$  et s'exprime en dB (décibels).

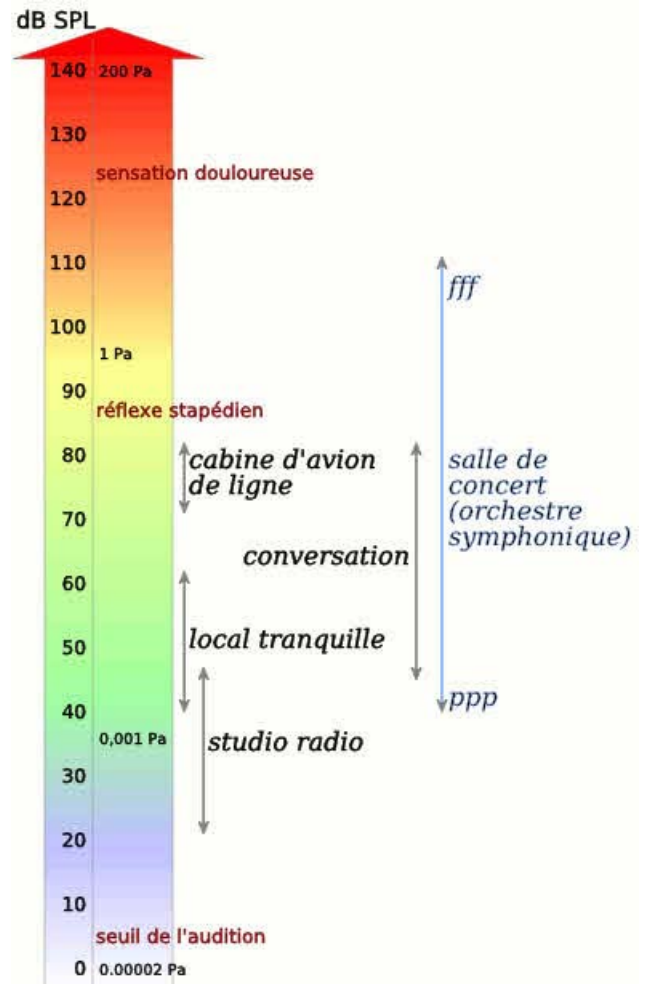
Si la pression acoustique vaut  $p$ , l'intensité acoustique est proportionnelle à  $p^2$ .

On note  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa la pression de référence acoustique.

On note  $I_0 = 10^{-12}$   $W/m^2$ .

$$L_p = 10 \log\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

log : logarithme décimal



### 3.4 Calcul du niveau sonore global

En général, le traitement des problèmes acoustiques s'effectue avec une analyse par bandes d'octaves car les solutions technologiques sont différentes selon que le bruit à traiter est plutôt dans les basses ou dans les aigus.

Il faut donc ensuite ajouter les bruits (les intensités acoustiques) dans chaque bande d'octave pour reconstituer le niveau sonore d'ensemble et obtenir ainsi une valeur numérique globale.

Il faut aussi tenir compte de la sensibilité de l'oreille autour des 1000 Hz, ce qui correspond à minorer le bruit dans les bandes d'octaves dans les aigus et les graves (pondération **dBA**).

<b>Fréquence médiane (Hz)</b>	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Niveau par octave du spectre (dB)</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>66</b>	<b>65</b>	<b>63</b>	<b>57</b>
<b>Pondération « A » par octave (dB)</b>	<b>-16</b>	<b>-8,5</b>	<b>-3</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>	<b>+1</b>
<b>Niveau pondéré par octave (dB(A))</b>	<b>55</b>	<b>61.5</b>	<b>63</b>	<b>65</b>	<b>64</b>	<b>58</b>
<b>NIVEAU DE PRESSION GLOBAL</b> □ <b>PONDERE DU BRUIT en dB(A)</b>	$L_p = 10 \log \left( 10^{5,5} + 10^{6,15} + 10^{6,3} + 10^{6,5} + 10^{6,4} + 10^{5,8} \right)$  <div style="background-color: yellow; padding: 5px; display: inline-block;"><b><math>L_p = 70 \text{ dB(A)}</math></b></div>					

### 3.5 Remarque sur l'addition de sources sonores

#### 3.5.1 2 sources sonores identiques.

Les sources sonores S1 et S2 donnent individuellement le niveau 71 dB dans la salle. Quel est le niveau sonore avec S1 et S2 simultanément dans la pièce.

L1 = 71 dB, L2 = 71 dB

$$L = 10 \log (10^{7,1} + 10^{7,1}) = 10 \log (2 * 10^{7,1}) = 10 \log (2) + 10 \log (10^{7,1}) = 3 + 71 = 74 \text{ dB}$$

- Lorsque le bruit double, le niveau sonore augmente de 3 dB.
- Lorsque le bruit est divisé par 2, le niveau sonore baisse de 3 dB.

#### 3.5.2 2 sources sonores très différentes.

La source sonore S1 apporte individuellement un niveau de 71 dB dans la pièce et S2 un niveau de 68 dB (moitié moins d'énergie).

Quel est le niveau sonore avec S1 et S2 simultanément dans la pièce.

L1 = 71 dB, L2 = 68 dB

$$L = 10 \log (10^{7,1} + 10^{6,8}) = 10 \log ((12,58 + 6,30) * 10^6) = 10 * 7,27 = 72,7 \text{ dB}$$

L'augmentation du niveau sonore est limitée à **1,7** dB dans ce cas.

#### 3.5.3 Tableau pour l'addition des niveaux.

Quand l'écart entre les deux bruits est inférieur ou égal à 10 dB, il faut calculer la différence en dB et ajouter au niveau le plus élevé la valeur correspondante (en dB) selon le tableau suivant :

différence entre les deux niveaux sonores	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valeur en dB à ajouter au niveau le plus fort	3	2.6	2.1	1.8	1.5	1.2	1	0.8	0.6	0.5	0.4

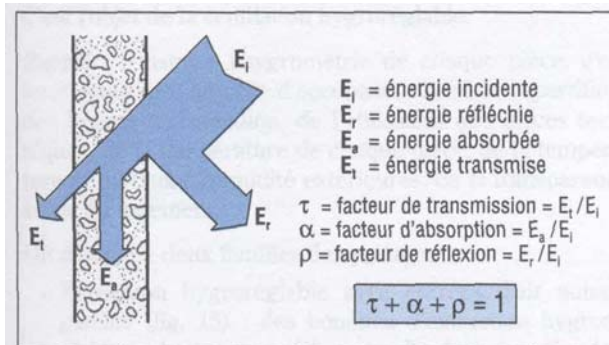
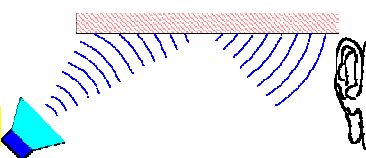
Exemple : **70 dB + 71 dB = 73.6dB**

## 4 Acoustique dans les bâtiments

### 4.1 Bruits aériens et solidiens

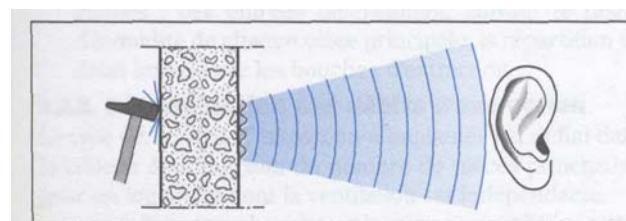
Avec les **bruits aériens**, l'énergie acoustique arrivant sur une paroi est partiellement réfléchi.

- Energie incidente
- Energie réfléchi
- Energie absorbée
- Energie transmise



Bruits aériens : transformation de l'énergie acoustique.

Les **bruits solidiens** se transmettent directement par la structure du bâtiment. Ce sont souvent des bruits de chocs, ou bien d'équipements de bâtiments.

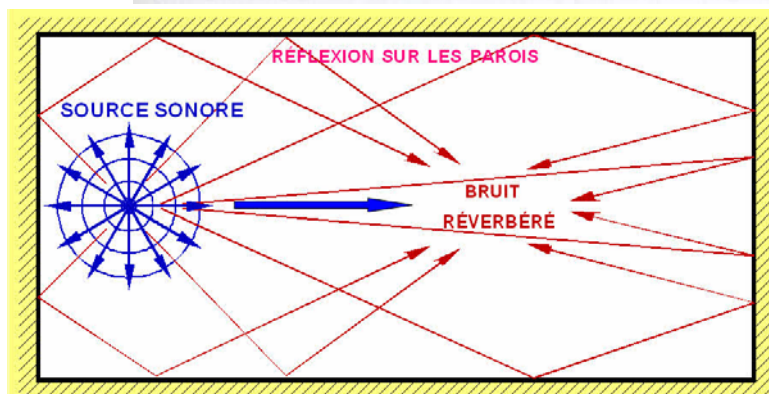


Bruits de choc.

### 4.2 Réverbération dans un local

Le bruit réfléchi par les parois persiste et se cumule avec les autres rayons sonores de la pièce. Les qualités d'absorption du revêtement des parois de la pièce sont donc favorables au confort acoustique.

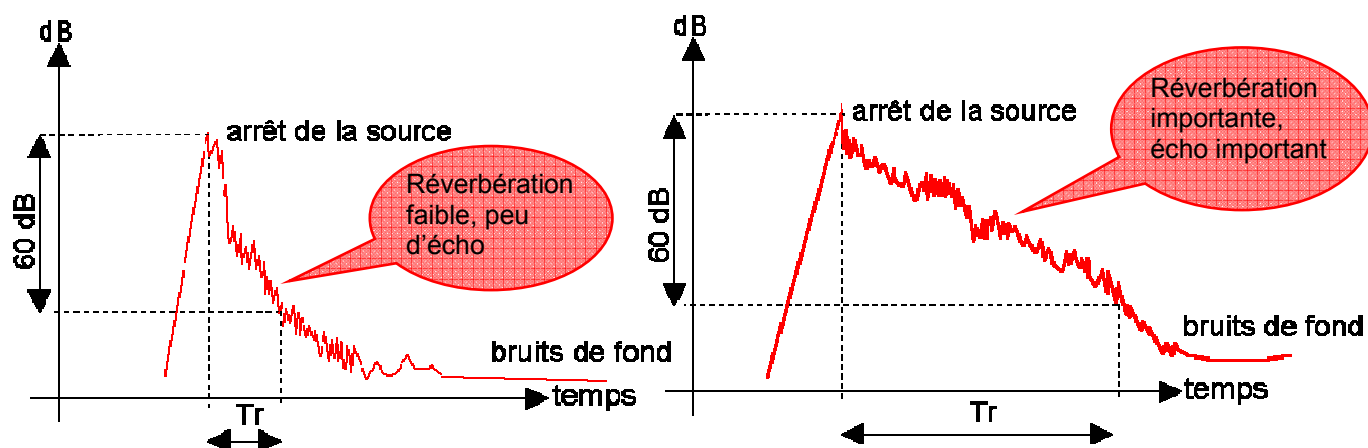
La réverbération (écho) augmente le niveau sonore et peut créer une gêne pour l'audition.



Si  $\alpha = 2\%$ , la même « onde » repasse 50 fois dans la pièce.

### 4.3 Notion de temps de réverbération d'un local

Le temps de réverbération est la durée exprimée en secondes, nécessaire pour que le niveau sonore dans un local diminue de 60 dB lors de l'arrêt brusque de la source sonore.



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

- Tr : temps de réverbération en seconde
- 0.16 : constante
- V : volume du local en m<sup>3</sup>
- A : aire d'absorption équivalente

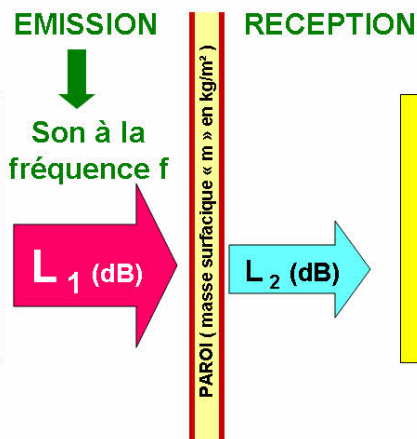
**Plus le temps de réverbération est important, plus le local est bruyant. On cherche donc à faire diminuer Tr en mettant des revêtements absorbants sur les parois intérieures du local.**

#### 4.4 Indice d'affaiblissement d'une paroi (séparation entre 2 faces)

Il correspond aux capacités de la paroi prise isolément (elle ne limite pas une enceinte).

R est souvent donné dans des tableaux ou par la loi de masse.

Plus une paroi est lourde, plus elle empêche la transmission des bruits aériens.



Indice d'affaiblissement  
« théorique » de la paroi :

$$R = L_1 - L_2$$

$$R = 10 \log [c(m.f)^2]$$

R<sub>route</sub>  
R<sub>rose</sub>  
R<sub>w</sub>



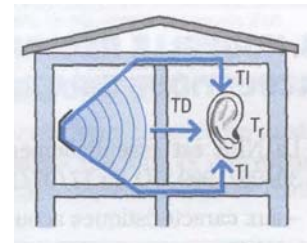
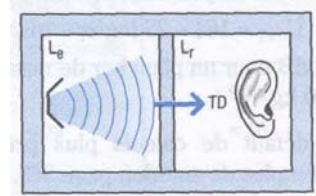


#### 4.5 Niveau acoustique transmis entre 2 pièces

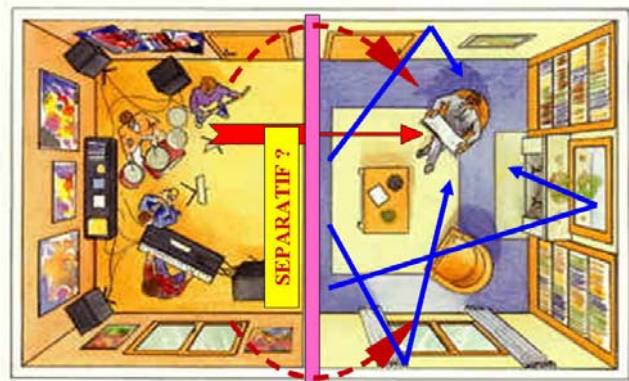
Les 2 pièces sont séparées par une paroi dont l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  est connu.

Il faut retenir que

- le résultat acoustique effectivement obtenu est inférieur à l'indice d'affaiblissement  $R$  de la cloison.



Il faut tenir compte de l'effet des mécanismes de transmission « parasites » ainsi que la réverbération s'établissant dans la pièce



On observera donc un résultat tel que :

$$L_{\text{récepteur}} = L_{\text{émetteur}} - R - 10 \log \left( \frac{A}{S} \right) + a$$

**S** : aire de la surface de paroi séparatrice.

**A** l'aire d'absorption équivalente de la pièce réceptrice.

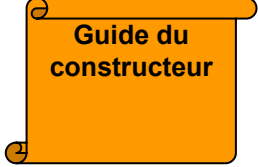
**a** une majoration pour les transmissions latérales (entre 5 et 0).



#### 4.6 Règle de conception acoustique d'une paroi

La réglementation impose une performance acoustique minimale pour les parois, en fonction de la nature des zones séparées. Cet isolement normalisé minimum requis est noté **DnAT**.

Entre 2 logements, **DnAT** = 54 ou 51 dB suivant la nature des pièces en vis-à-vis.



Guide du constructeur

Pour le calcul, on utilise la relation :

$$Dn = L_1 - L_2 = R + 10 \log \left( \frac{A}{S} \right) = R + 10 \log \left( \frac{0.16xV_2}{T_2xS} \right)$$

**S** : aire de la surface de paroi séparatrice.

**A** l'aire d'absorption équivalente de la pièce réceptrice.

**V2, T2=0.5s** : volume et temps de réverbération du local récepteur.