

# Cours d'acoustique (du Bâtiment) - Isolation acoustique des salles -

**François-Xavier Bécot**

fxb@matelys.com

Année scolaire 2013/2014

Ce cours est principalement basé sur les supports des autres intervenants  
(F. Chevillotte, L. Jaouen, X. Olny, F. Sgard)

Une partie des illustrations provient de la doc. acoustique d'Isover-St Gobain

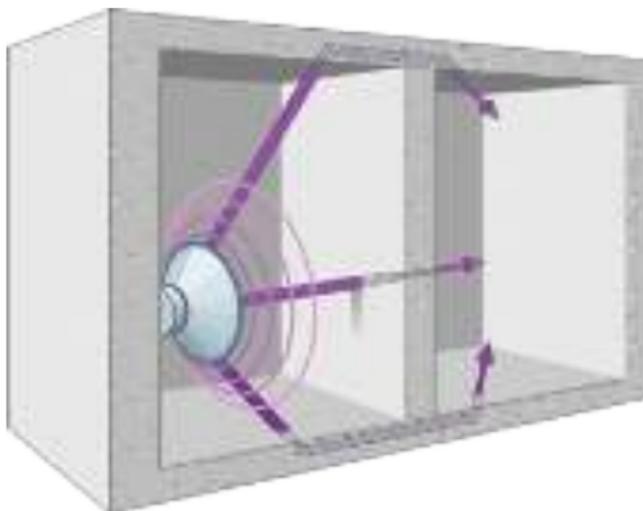
# Contenu

- 1** Définition de l'isolation acoustique
  - Définition et buts
  - Quelques définitions de grandeurs utilisées
- 2** Transmission des parois
  - Pourquoi étudier la transmission des parois
  - Parois simples
  - Parois doubles
- 3** Mise en oeuvre de l'isolement
  - Réglementations
  - Quelques conseils de mise en oeuvre

# Contenu

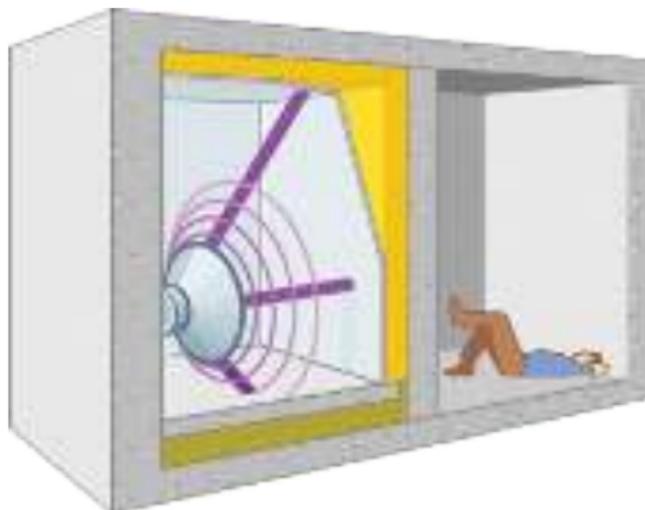
- 1** Définition de l'isolation acoustique
  - Définition et buts
  - Quelques définitions de grandeurs utilisées
- 2** Transmission des parois
  - Pourquoi étudier la transmission des parois
  - Parois simples
  - Parois doubles
- 3** Mise en oeuvre de l'isolement
  - Réglementations
  - Quelques conseils de mise en oeuvre

# Définition de l'isolation acoustique entre deux salles



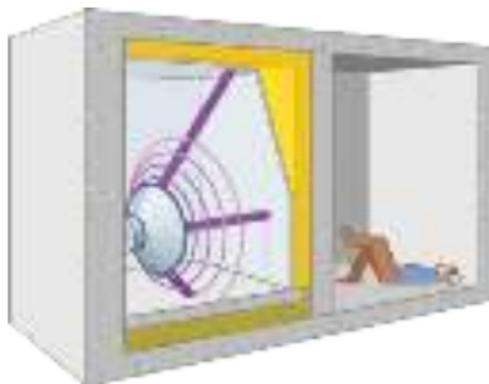
Toute paroi d'épaisseur, masse et rigidité finies est susceptible de transmettre une vibration entre deux salles adjacentes.

# Définition de l'isolation acoustique entre deux salles

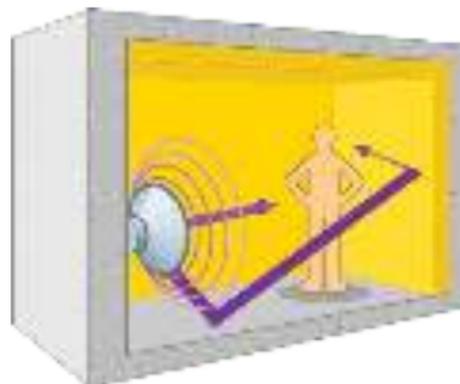


L'isolation acoustique entre deux salles consiste à limiter ces transmissions d'origines solidienne et/ou aérienne.

# Isolation vs. correction acoustique : éviter la confusion



**Isolation acoustique**  
Source(s) et récepteur(s)  
séparés par une paroi



**Correction acoustique**  
Source(s) et récepteur(s)  
dans le même local

# Isolement brut entre deux locaux

## Définition

Différence des niveaux de pression entre le local d'émission (E) et le local de réception (R) (par bande ou 1/3 de bande d'octave).

## Traduction mathématique

$$D_b = L_p^E - L_p^R = 10 \log_{10} \left( \frac{\langle p_E^2 \rangle}{\langle p_R^2 \rangle} \right)$$

# Isolement standardisé entre deux locaux

## Définition

Isolement brut corrigé de l'absorption du local de réception (caractérisé par son Temps de Réverbération).

## Expression mathématique

$$D_{nT} = L_p^E - L_{p,n}^R = D_b + 10 \log_{10} \left( \frac{Tr}{T_{ref}} \right)$$

avec  $T_{ref} = 0.5$  pour un local d'habitation,  
ou  $T_{ref} = 1.0$  pour une salle de cours.

# Transparence acoustique d'un élément : $\tau$

## Définition

Parallèle avec l'optique.

$\tau \rightarrow +\infty$  : ondes acoustiques transmises à travers l'élément.

$\tau \rightarrow 0$  : pas d'ondes acoustiques transmises.

## Expression mathématique

$$\tau(f) = \frac{W_{transmise}}{W_{incidente}} \text{ (rapport de puissance)}$$

$$\tau(f) \equiv \frac{I_{transmise}}{I_{incidente}} \text{ (rapport d'intensité si élément homogène)}$$

Paroi composite (composée d'éléments homogènes différents)

$$\tau(f) = \frac{\sum_i S_i \tau_i}{\sum_i S_i}, \quad S_i : \text{surface de l'élément } i.$$

# Transparence acoustique d'un élément : $\tau$

## Définition

Parallèle avec l'optique.

$\tau \rightarrow +\infty$  : ondes acoustiques transmises à travers l'élément.

$\tau \rightarrow 0$  : pas d'ondes acoustiques transmises.

## Expression mathématique

$$\tau(f) = \frac{W_{transmise}}{W_{incidente}} \text{ (rapport de puissance)}$$

$$\tau(f) \equiv \frac{I_{transmise}}{I_{incidente}} \text{ (rapport d'intensité si élément homogène)}$$

## Paroi composite (composée d'éléments homogènes différents)

$$\tau(f) = \frac{\sum_i S_i \tau_i}{\sum_i S_i}, \quad S_i : \text{surface de l'élément } i.$$

# Indice d'affaiblissement $R$ d'une paroi

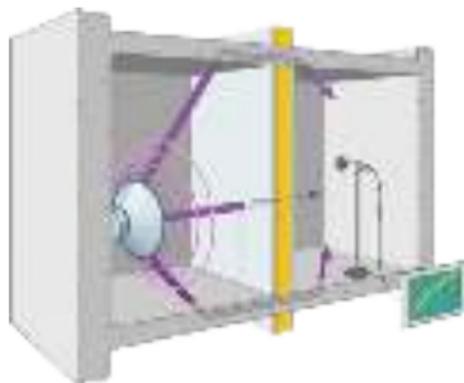
## Définition

L'indicateur de l'isolation d'une paroi le plus répandu.  
traduction anglaise : TL (Transmission Loss).

## Expression mathématique

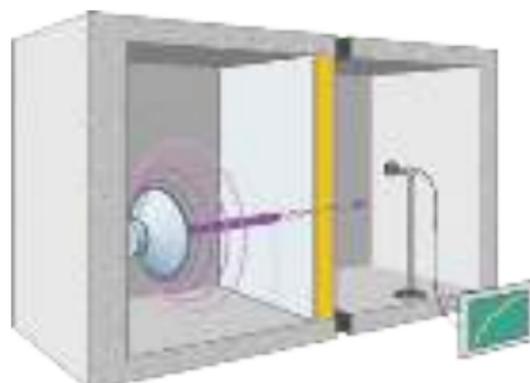
$$R(f) = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{\tau(f)} \right)$$

# Isolement vs. affaiblissement : différences



## Mesure d'un isolement

Transmission par parois latérales  
possibles.



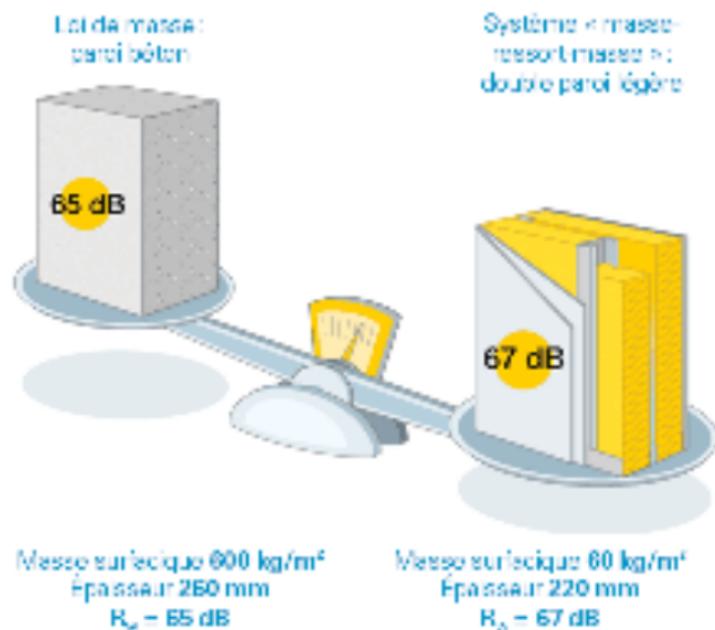
## Mesure d'un affaiblissement

Transmission uniquement par la paroi  
étudiée.

# Contenu

- 1** Définition de l'isolation acoustique
  - Définition et buts
  - Quelques définitions de grandeurs utilisées
- 2** Transmission des parois
  - Pourquoi étudier la transmission des parois
  - Parois simples
  - Parois doubles
- 3** Mise en oeuvre de l'isolement
  - Réglementations
  - Quelques conseils de mise en oeuvre

# Le tout "paroi lourde" : pas toujours la bonne solution



# Compréhension des phénomènes et modélisations

La compréhension et les modélisations des phénomènes de transmission sont basées sur la théorie de vibration des plaques (entre autres).

## Modélisations (+ simple $\rightarrow$ + raffiné)

- Loi de masse (élasticité du parement négligée)
- Modèle avec élasticité
- Modèle avec élasticité et amortissement structural

# Loi de masse, champ d'onde plane

On considère uniquement l'inertie du parement (élasticité négligée)

## Expression mathématique

$$R(f, M, \theta) = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi f M \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right]$$

avec  $\theta$  : angle d'incidence (en radian),

$M$  : masse surfacique du parement ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

## Remarques

Doublement de la fréquence :  $R(2 \times f, M, \theta) = R(f, M, \theta) + 6\text{dB}$

Doublement de la masse :  $R(f, 2 \times M, \theta) = R(f, M, \theta) + 6\text{dB}$

Rappel  $M = \rho h$

# Loi de masse, champ d'onde plane

On considère uniquement l'inertie du parement (élasticité négligée)

## Expression mathématique

$$R(f, M, \theta) = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi f M \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \right]$$

avec  $\theta$  : angle d'incidence (en radian),

$M$  : masse surfacique du parement ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )

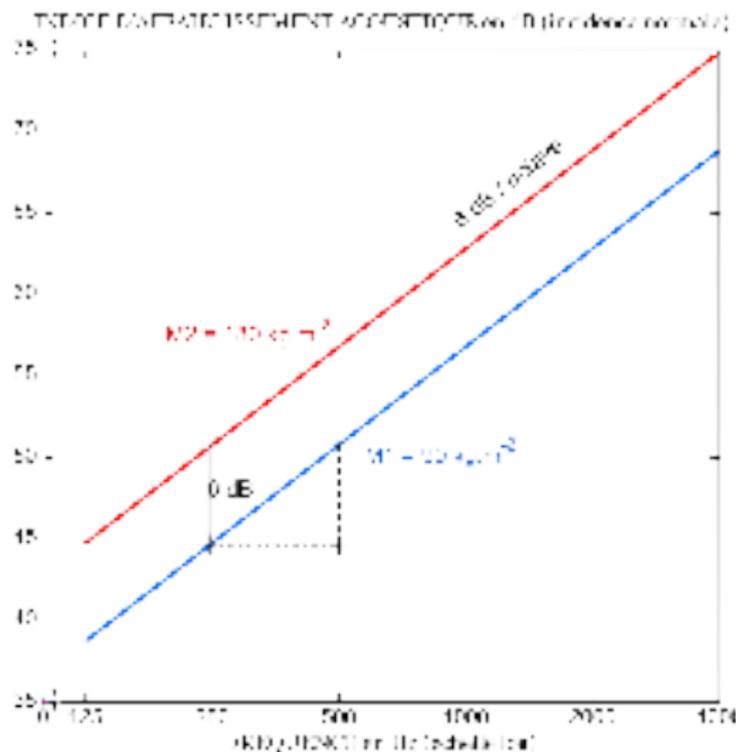
## Remarques

Doublement de la fréquence :  $R(2 \times f, M, \theta) = R(f, M, \theta) + 6\text{dB}$

Doublement de la masse :  $R(f, 2 \times M, \theta) = R(f, M, \theta) + 6\text{dB}$

Rappel  $M = \rho h$

# Loi de masse, champ d'onde plane



# Inertie et raideur, champ d'onde plane

On considère l'inertie et la raideur du parement (élément de paroi)

## Expression mathématique

$$R(f, M, \theta) = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi f M \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{f^2}{f_{coincidence}^2} \right)^2 \right]$$

$$f_{coincidence} = \frac{1}{2\pi} \frac{c_0^2}{\sin^2(\theta)} \sqrt{\frac{M}{D}}$$

$$\text{Rigidité de flexion : } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Remarques : 3 zones de comportements distincts

zone A,  $f \ll f_{coincidence}$ , contrôle en inertie (masse)

zone B,  $f \simeq f_{coincidence}$ , contrôle par l'amortissement struct.

zone C,  $f \gg f_{coincidence}$ , contrôle en raideur

# Inertie et raideur, champ d'onde plane

On considère l'inertie et la raideur du parement (élément de paroi)

## Expression mathématique

$$R(f, M, \theta) = 10 \log_{10} \left[ 1 + \left( \frac{2\pi f M \cos \theta}{2\rho_0 c_0} \right)^2 \left( 1 - \frac{f^2}{f_{coincidence}^2} \right)^2 \right]$$

$$f_{coincidence} = \frac{1}{2\pi} \frac{c_0^2}{\sin^2(\theta)} \sqrt{\frac{M}{D}}$$

$$\text{Rigidité de flexion : } D = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)}$$

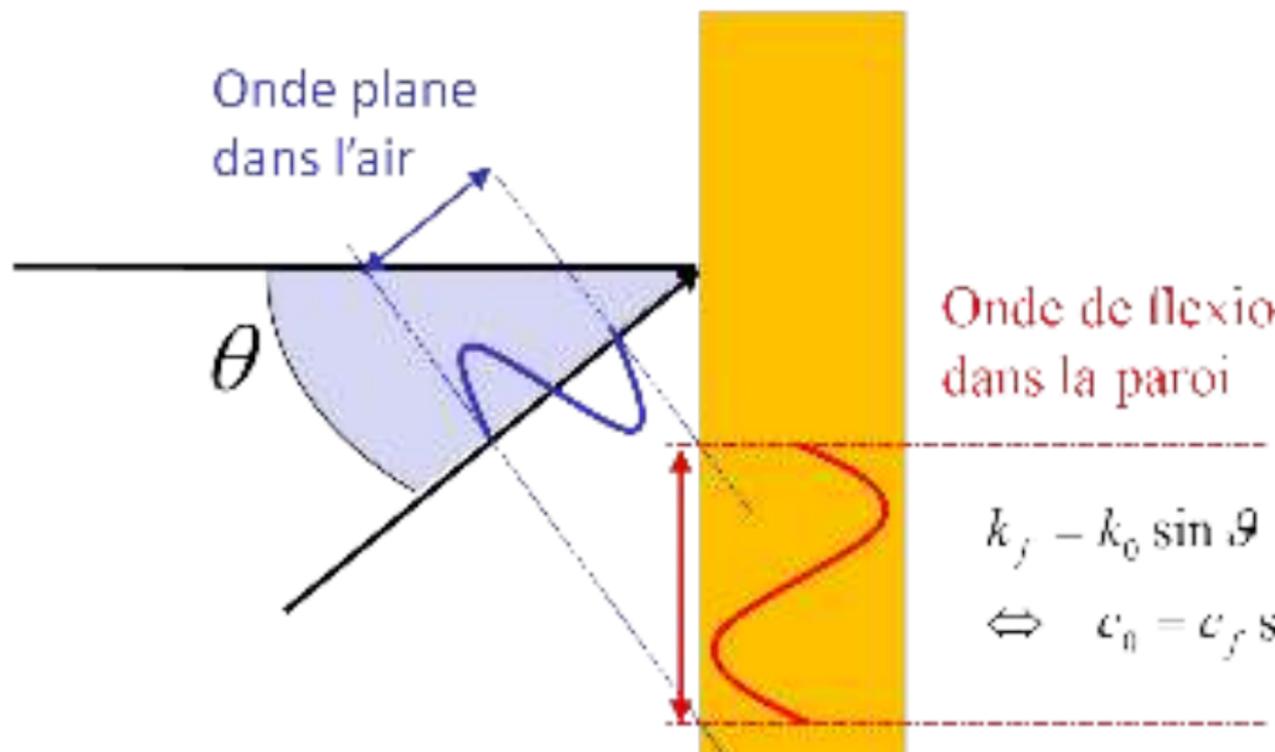
## Remarques : 3 zones de comportements distincts

zone A,  $f \ll f_{coincidence}$ , contrôle en inertie (masse)

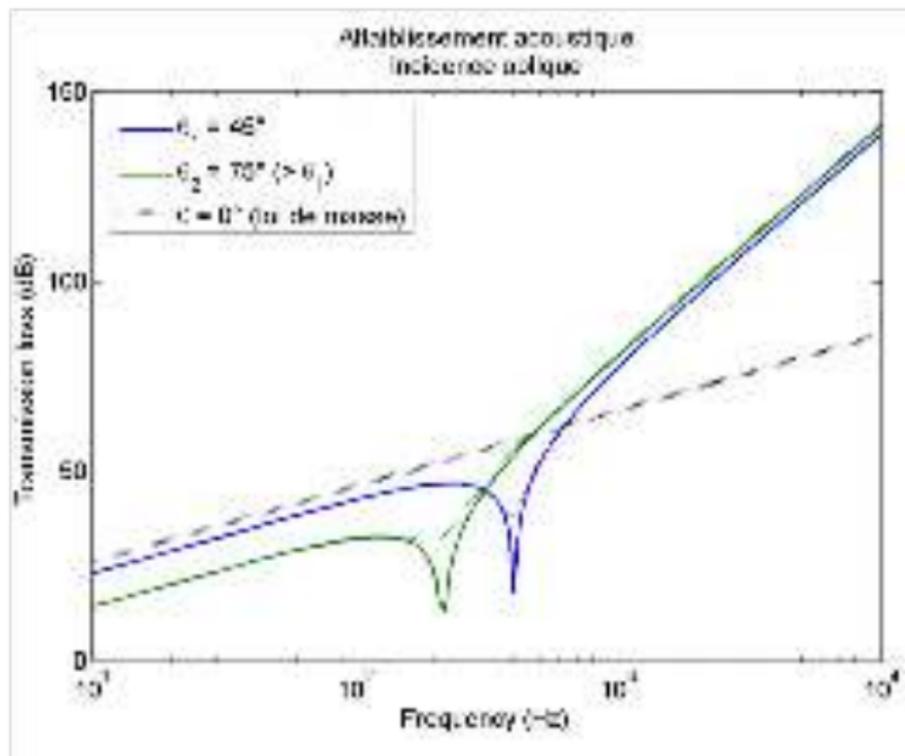
zone B,  $f \simeq f_{coincidence}$ , contrôle par l'amortissement struct.

zone C,  $f \gg f_{coincidence}$ , contrôle en raideur

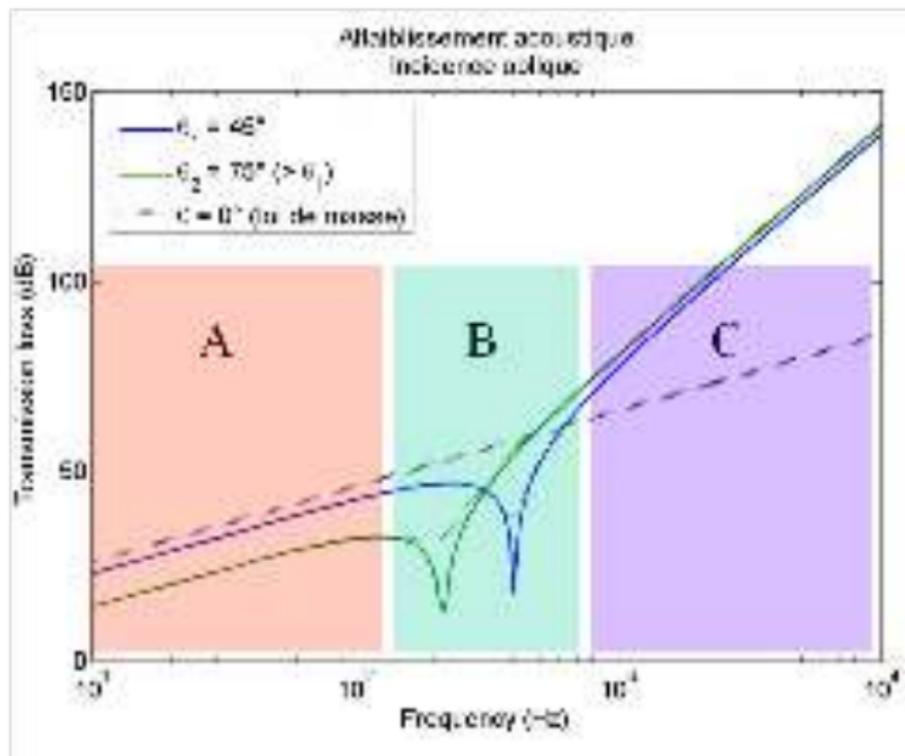
# Explication de la fréquence de coïncidence



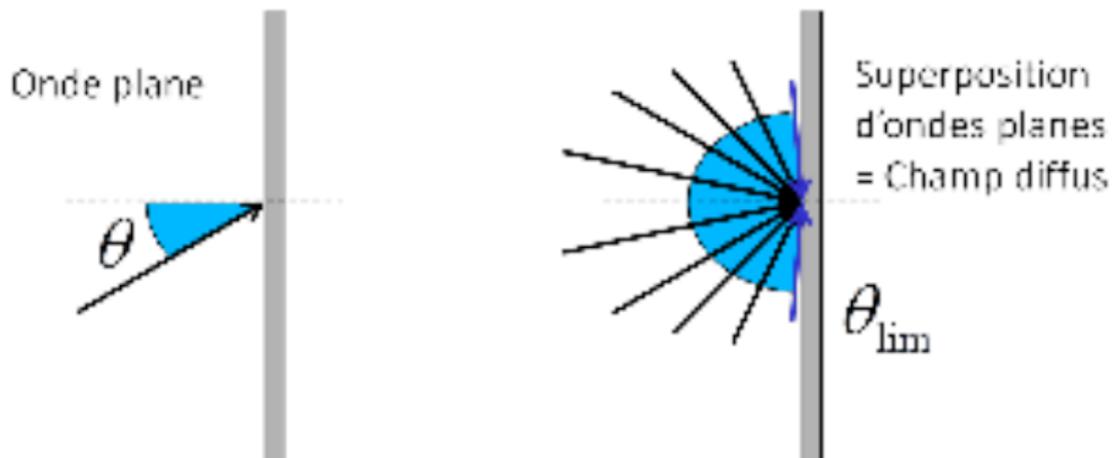
# Inertie et raideur, champ d'ondes planes



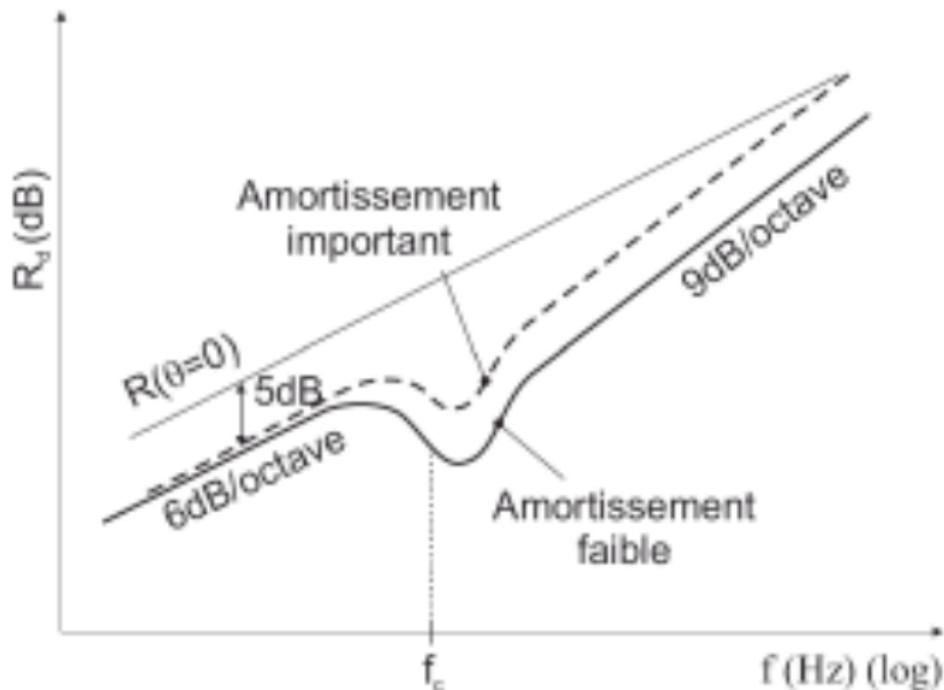
# Inertie et raideur, champ d'ondes planes



# Champ d'ondes planes Vs. Champ diffus



# Inertie et raideur, champ diffus



$f_c$  : fréquence critique ( $\equiv$  fréq. coïncidence pour  $\theta = \pi/2$ ).

## Parois double : effet masse-ressort-masse supplémentaire

### Description de l'effet masse-ressort-masse

1 : couche intercalaire (air ou matériau, poreux ou non)

2 : parements

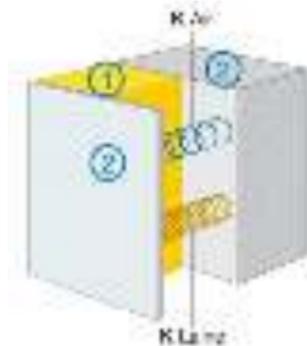
### Masse-ressort-masse : 1 fréquence particulière

nommée fréquence de respiration  
et notée généralement  $f_0$ ,

$$f_0 = \sqrt{\frac{K}{4\pi^2} \left( \frac{1}{M_I} + \frac{1}{M_{II}} \right)}$$

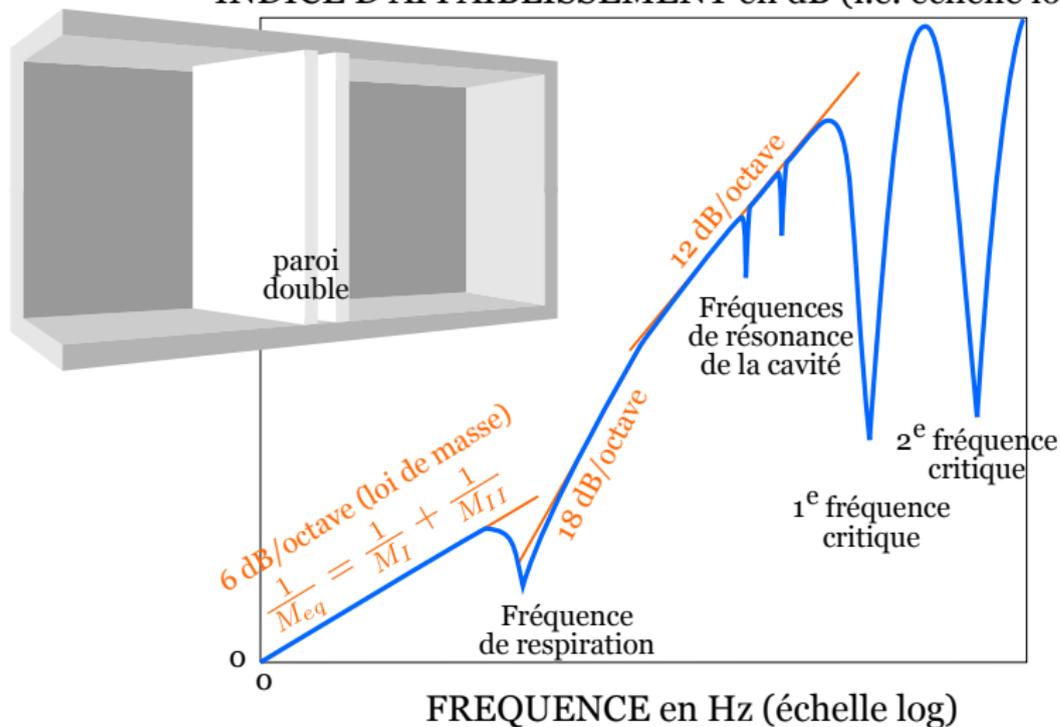
$K$  : raideur de la couche intercalaire

$M_I, M_{II}$  : masses surfaciques des parements

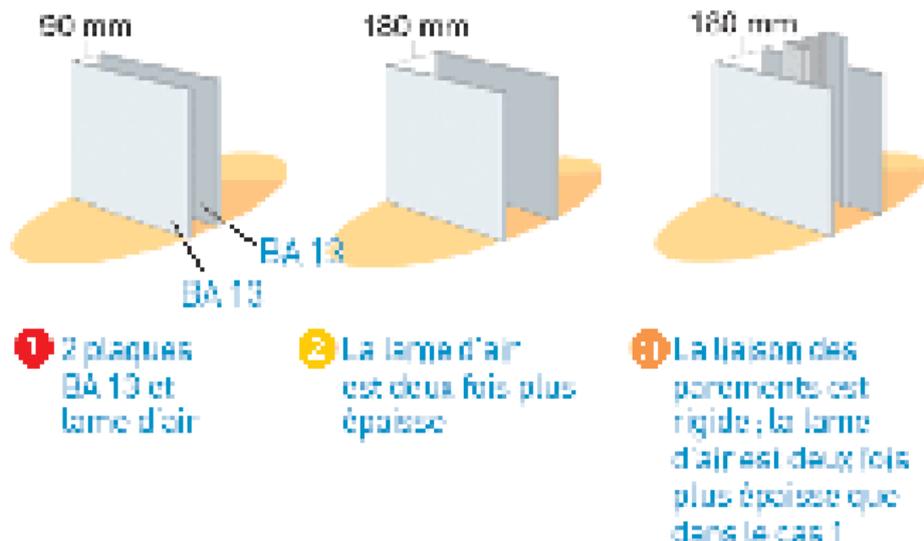


# Inertie et raideur, champ diffus

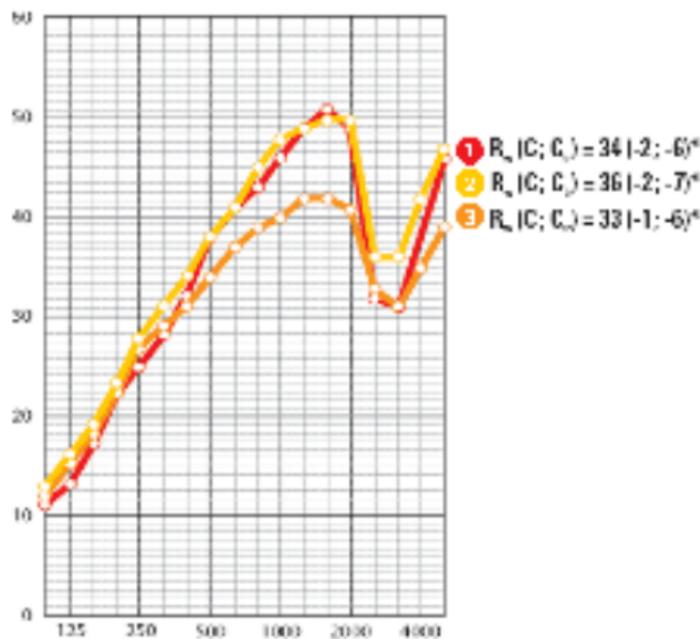
INDICE D'AFFAIBLISSEMENT en dB (i.e. échelle log)



## Influence de l'épaisseur de la couche intercalaire (1/2)



## Influence de l'épaisseur de la couche intercalaire (2/2)



Observations autour de  $f_c$ .

# Contenu

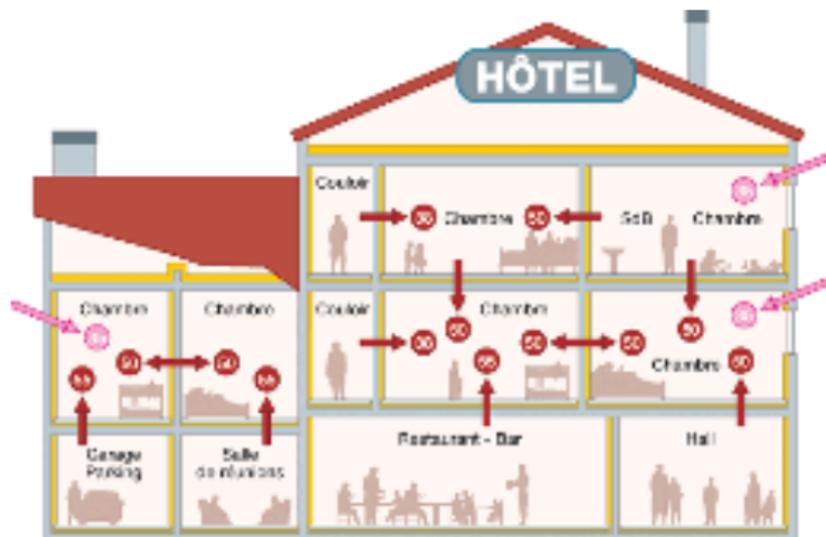
- 1 Définition de l'isolation acoustique
  - Définition et buts
  - Quelques définitions de grandeurs utilisées
- 2 Transmission des parois
  - Pourquoi étudier la transmission des parois
  - Parois simples
  - Parois doubles
- 3 Mise en oeuvre de l'isolement
  - Réglementations
  - Quelques conseils de mise en oeuvre

## Exemples de réglementation 1/3



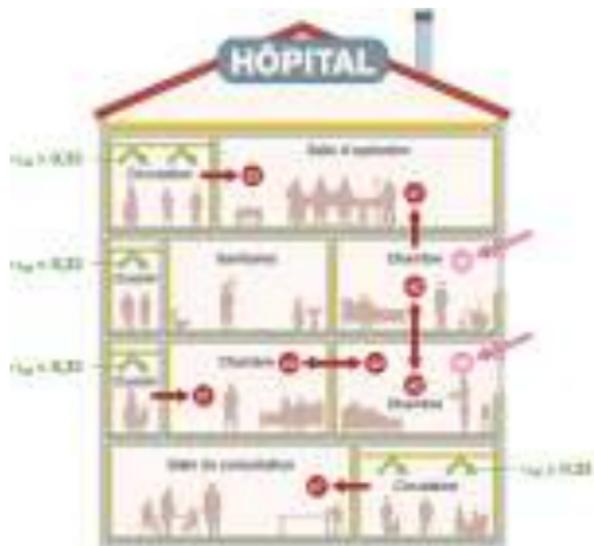
Isolement aux bruits extérieurs, aériens et d'impact

## Exemples de réglementation 2/3



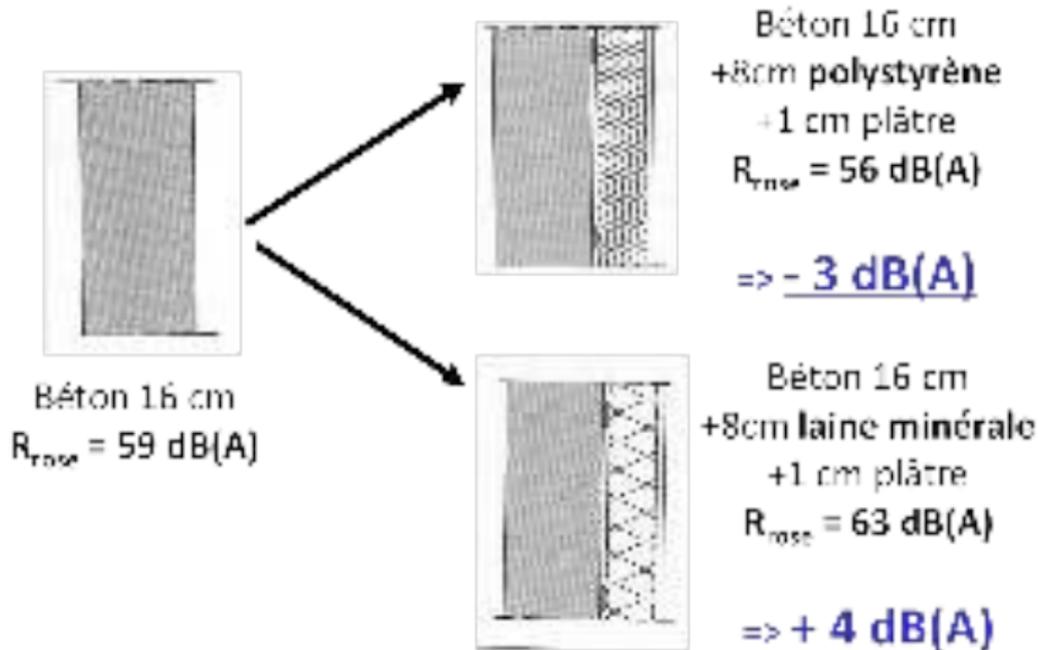
Isolement aux bruits extérieurs et aériens

## Exemples de réglementation 3/3



Isolement aux bruits extérieurs et aériens ; Correction.

## Enveloppe : influence du doublage

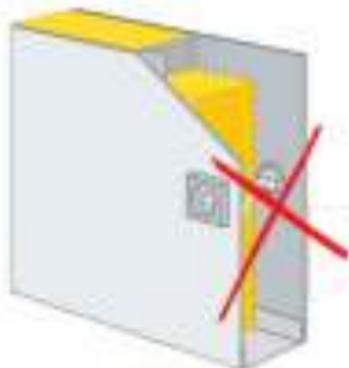


## Enveloppe : influence du mur porteur

Pour un même doublage =  
plaque de plâtre 13mm + laine minérale 8mm

Mur porteur	R	R	$\Delta R$
	Mur seul	Mur + doublage	
Béton 10 cm	50	64	14
Carreau de plâtre 10 cm	38	62	24

# Eviter les ponts acoustiques

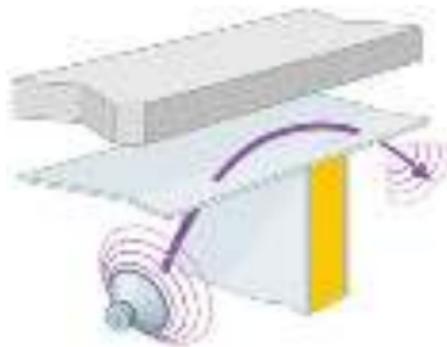


Transmission du son par les ouvertures  
en vis-à-vis.

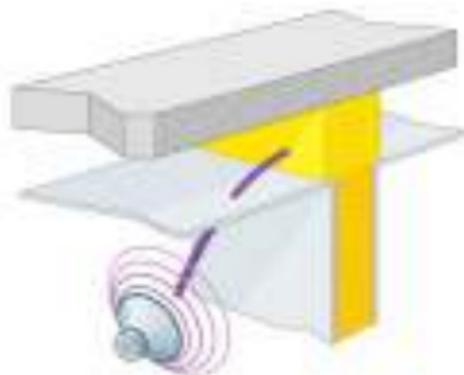


Vis-à-vis décalés.

# Eviter les ponts acoustiques



Transmission du son par le plafond.



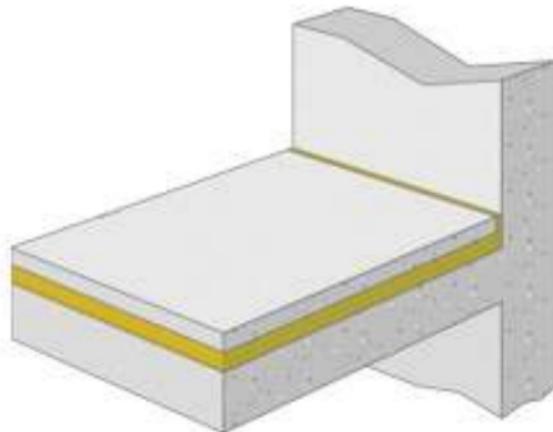
Barrière acoustique posée en plafond.

# Eviter les ponts acoustiques



Positionnement en quinconce des différentes couches.

# Contre bruit de choc, chape flottante pour plancher



Chape flottante sur isolant phonique et thermique

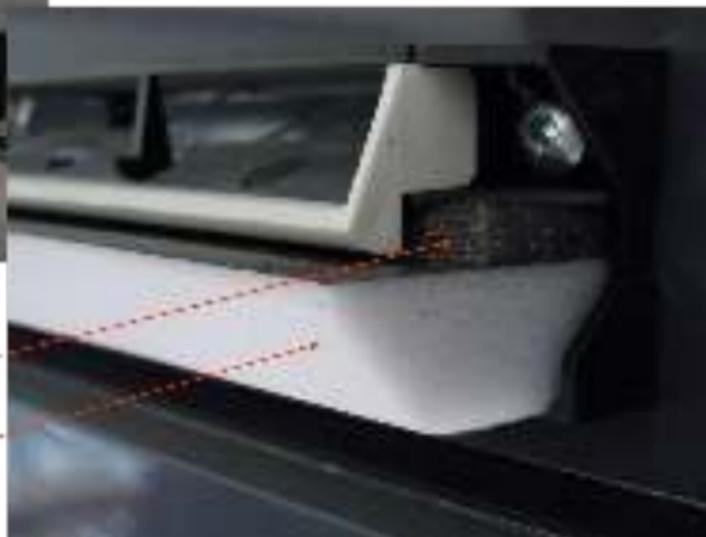
Ex. : laine de roche haute densité, fibres polyester ou naturelles

## Traiter les entrées d'air



Mousse abs. 1

Mousse abs. 2



Principe : compliquer le passage de l'air.

Attention : respecter les contraintes de pertes de charge (chauff. gaz)

## En pratique, pour une salle donnée

- 1 Se renseigner sur l'isolement réglementaire,
- 2 Calculer ou mesurer l'isolement actuel.
- 3 Simuler et proposer des solutions :  
Modification des volumes, des parois  
(masse, ajout/suppression de matériaux...).

## Outils de simulations ...

