



FR2150-01V00



ACOUSTIQUE - VENTILATION

Siège Social : VENATHEC
17 rue de Bavière "Les Grèbes"
BP 10101 54503 VANDOEUVRE Cedex
Tél. : 03.83.56.02.25 - Fax : 03.83.56.04.08
Site Web : <http://www.venathec.com>
E-mail : venathec@venathec.com

Agence PARIS : ACOUSTIS
44 rue Monge 75005 PARIS
Tél. : 01.44.07.04.98 - Fax : 03.83.56.04.08
Site Web : <http://www.venathec.com/acoustis>
E-mail : acoustis@venathec.com

Notre bien-être est notre préoccupation

FORMATION ACOUSTIQUE A DESTINATION DES ETUDIANTS ECOLE D'ARCHITECTURE du 11 Octobre 2004

SOMMAIRE

- Matériels et logiciels de mesure acoustique
 - Chaîne d'acquisition et de traitement
 - Générateur de bruit

- Initiation aux principes fondamentaux en acoustique
 - Le son, les fréquences,
 - Le décibel, les niveaux sonores
 - L'isolation phonique
 - Le traitement acoustique

- Questions / Réponses

1. LE SON - LE BRUIT

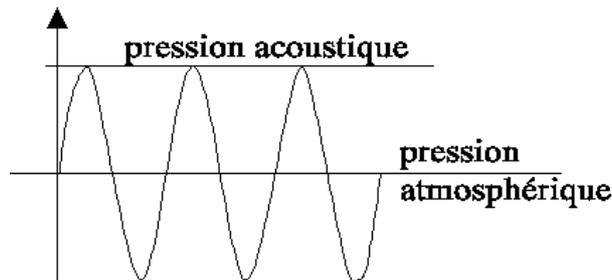
1.1 - DEFINITION

Le son est une sensation auditive produite par une variation rapide de la pression de l'air. L'origine de cette variation est engendrée par la vibration d'un corps qui met en vibration l'air environnant

Ainsi est créée une succession de zone de pression et de dépression qui constitue l'onde acoustique.

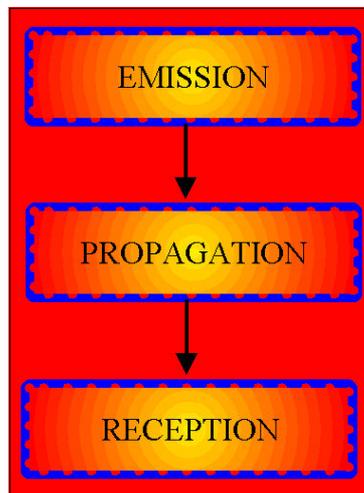
Quand cette onde arrive à l'oreille, elle fait vibrer le tympan : le son est alors perçu.

- Physiquement le bruit est un mélange de sons
- Physiologiquement on attribue au mot " BRUIT " un caractère gênant



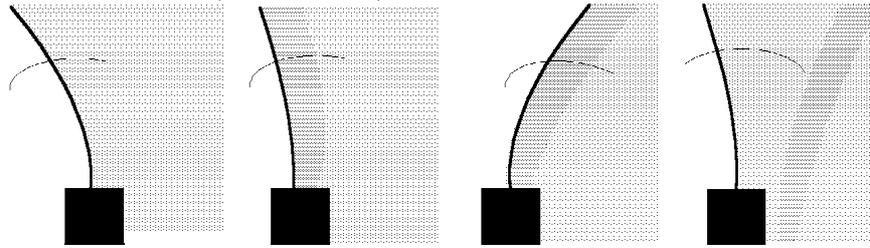
1.2 - Les trois phases du bruit

Tout phénomène sonore existe à travers ces trois phases :



A - EMISSION

Une source émet le bruit (vibration)



B - PROPAGATION

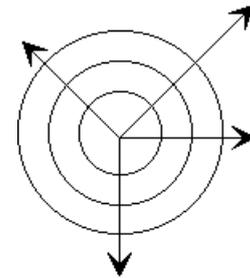
Un milieu propage le bruit (air, eau, métal, béton, ...)

Les sons ne se propagent pas dans le vide

L'onde sonore se propage dans tout milieu possédant :

- une MASSE
- une ELASTICITE

La propagation se fait dans toutes les directions à partir de la source



Célérité ou vitesse de propagation du son

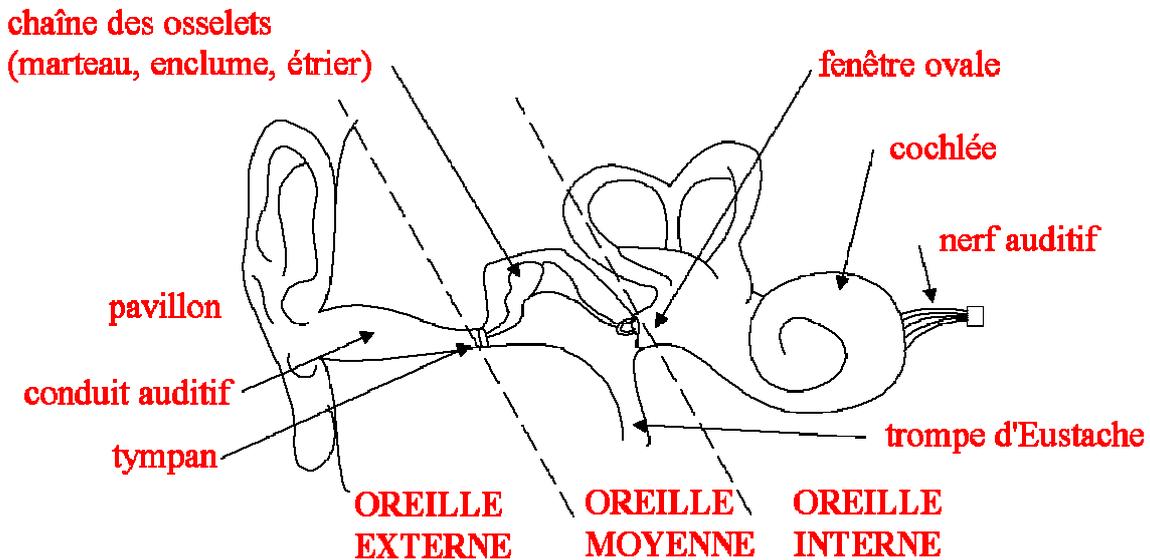
La vitesse de propagation du son (célérité) varie suivant l'homogénéité et l'élasticité du corps qui propage le son.

MATERIAUX	CELERITE EN M / S
Air (20°C)	340
Eau	1460
Bois	1000 à 2000
Béton	3500
Brique	2500
Acier	5000 à 6000
Verre	5000 à 6000
Plomb	1320
Liège	450 à 500
Caoutchouc	40 à 150

C - RECEPTION

Un récepteur reçoit le bruit (oreille, sonomètre) l'oreille est le seul des 5 sens qui reste en éveil 24h / 24

Perception des sons : le mouvement vibratoire animant la chaîne des osselets excite les cellules de la cochlée qui est l'organe même de la perception. Les influx électriques sont transmis aux centres nerveux par le nerf auditif.



1.3 - CARACTERISTIQUES D'UN SON

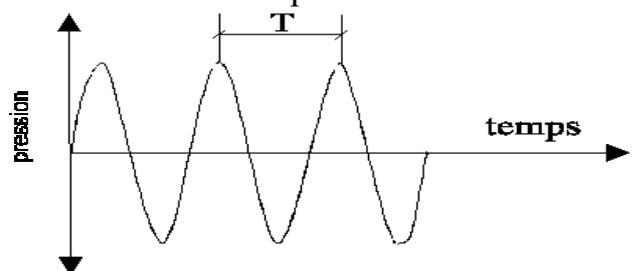
Le son se caractérise par sa fréquence sa longueur d'onde et son intensité

A - LA FREQUENCE

Unité : le Hertz (Hz)

En un point donné la pression fluctue un certain nombre de fois par seconde autour de la pression atmosphérique.

Le nombre de fluctuation par seconde définit la FREQUENCE du son.



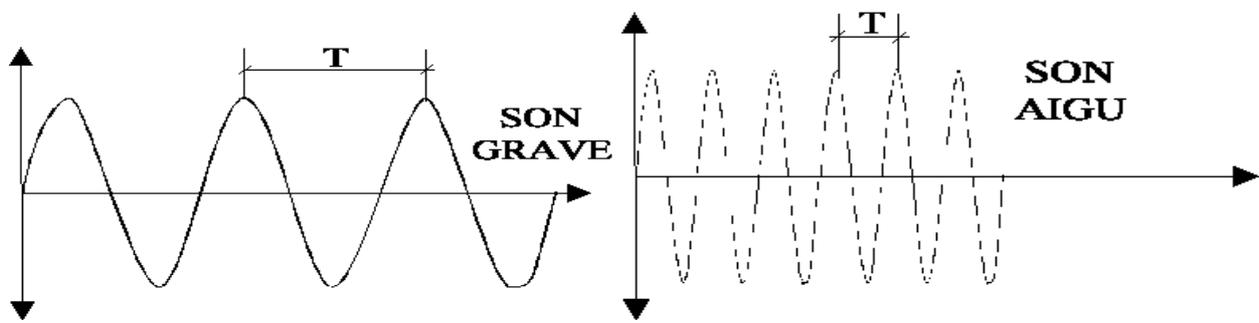
$T = 1$ période : s'exprime en seconde - Avec 2 fluctuations par seconde la fréquence est de 2 Hertz

$$T = \frac{1}{F}$$

Si la période est longue, la fréquence est basse, le son est grave

Si la période est courte, la fréquence est élevée, le son est aigu

Si la période est moyenne, la fréquence est moyenne, le son est médium



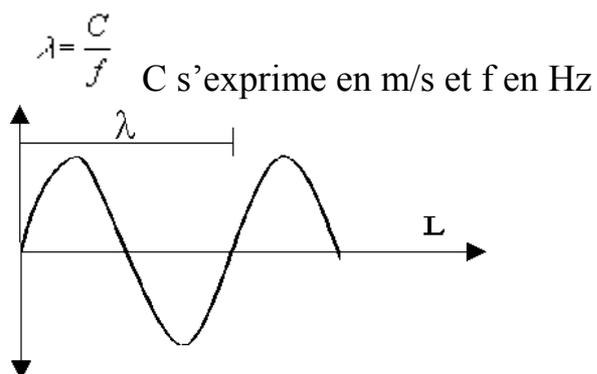
L'oreille humaine perçoit les sons dont les fréquences sont situées entre 20 et 16000 Hz
 ** le chien perçoit les sons jusqu'à 40 000 Hz, la chauve-souris et le dauphin jusqu'à 150 000 Hz **

16000 Hz	ULTRA-SONS	Sons non audibles
1600 Hz	SONS AIGUS	SONS AUDIBLES
400 Hz	SONS MEDIUMS	
20 Hz	SONS GRAVES	
	INFRA-SONS	Sons non audibles

La réglementation ne prend en compte que les fréquences de 100 à 5000 Hz regroupées en six bandes d'octave centrées sur 125, 250, 500, 1000, 2000 et 4000 Hz.

B - LA LONGUEUR D'ONDE

On appelle longueur d'onde λ la distance parcourue par une onde sonore pendant la durée d'une période.



C - LE NIVEAU SONORE (unité physique : le dB)

La pression acoustique d'un bruit est mesurée en PASCAL (Pa).

L'oreille est sensible à des pressions allant de 0.00002 Pa à 20 Pa, soit un rapport de 1 à 1 000 000

Pour ramener cette large échelle de pression, exprimée en Pascal, à une échelle plus réduite et donc plus pratique d'utilisation, on a adopté la notation logarithmique et créé le décibel (dB).

LOI DE WEBER - FECHNER

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \text{ OU } L_p = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

L_p est exprimé en dB

P est exprimé en Pa

P_0 est la pression de référence = $2 \cdot 10^{-5}$

Calculer les niveaux sonores en dB des pressions acoustiques en Pa suivantes :

Pressions en Pa	niveaux sonores en dB
20	120
2	100
0.2	80
0.02	60
0.002	40
0.0002	20
0.00002	0

D - ADDITION DES dB

Du fait de l'échelle LOGARITHMIQUE, on ne peut pas ajouter ARITHMETIQUEMENT les décibels de deux bruits pour arriver au niveau sonore global

Il faut utiliser deux règles simples

1- Bruits de niveaux très différents

Quand l'écart entre les deux bruits est supérieur à 10dB, le plus fort couvre complètement le plus faible

Exemple : 100 dB + 70 dB = 100 dB

2- Bruits de niveaux voisins

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 : 70dB + 71 dB = 73.6dB

3- Bruits de niveaux identiques

Ajouter au niveau de bruit de base le résultat de l'opération suivante : $10 \text{ Log } n$ n étant le nombre de bruit identique

Exemple :

2 bruits de 80 dB -> $80 + 10 \text{ Log } 2 = 80 + 3 = 83 \text{ dB}$

4 bruits de 80 dB -> $80 + 10 \text{ Log } 4 = 80 + 6 = 86 \text{ dB}$

10 bruits de 80 dB -> $80 + 10 \text{ Log } 10 = 80 + 10 = 90 \text{ dB}$

Application :

Quelle sera l'intensité acoustique si deux bruits, l'un de 100 dB et l'autre de 70 dB sont produits simultanément ?

-100 dB

Quelle sera l'intensité acoustique si deux bruits, l'un de 70 dB et l'autre de 76 dB sont produits simultanément ?

77 dB

Quelle sera l'intensité acoustique si dix bruits de 60 dB sont produits simultanément ?

70 dB

Quelle sera l'intensité acoustique si deux bruits de 0 dB sont produits simultanément ?

- 3 dB (en effet 0 dB est un niveau sonore correspondant à 0.0002 Pa)

Quelle sera l'intensité acoustique si dix bruits de 0 dB sont produits simultanément ?

- 10 dB

Formule mathématique

$$Lp = 10 * \text{Log}(\sum 10^{\frac{Li}{10}})$$

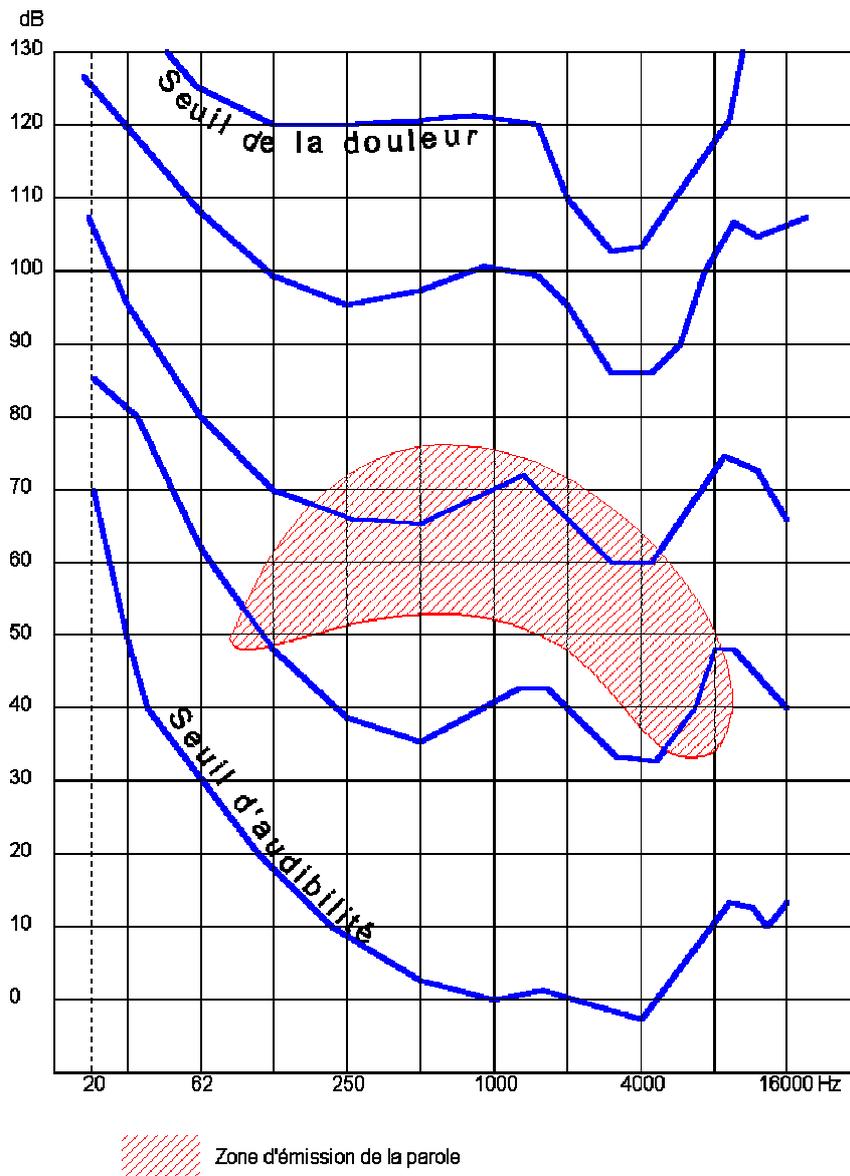
[Niveau global octave.xls](#)

4 - Echelle des niveaux sonores

NATURE DES BRUITS	IMPRESSION SUBJECTIVE	NIVEAU EN dB	Possibilité de conversation
TURBO - REACTEUR	Seuil de la douleur Troubles de l'oreille (surdité)	130	
MARTEAU - PILON	Bruits	120	Impossible
RIVETEUSE	insupportables	110	
MARTEAU PIQUEUR à 3 m	(douloureux)	100	En criant
MOTO SANS SILENCIEUX	Bruits	90	
RUE A GRANDE CIRCULATION	très pénibles	80	Difficile
REFECTOIRE BRUYANT télévision à 1 m	Ambiance supportable	70	En parlant
GRANDS MAGASINS	bruyante	60	fort
RUE TRANQUILLE	Bruits courants	50	A voix
BUREAU TRANQUILLE		40	normale
JARDINS CALMES	Calme	30	
STUDIO D'ENREGISTREMENT	Très calme	20	A voix basse
LABORATOIRE D'ACOUSTIQUE		10	
SEUIL D'AUDIBILITE	Silence inhabituel	0	

D - NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE PONDERE {unité physiologique : le dB(A)}

La sensibilité de l'oreille humaine se situe dans la zone de fréquence comprise entre 20 et 16000 Hz



Le dB(A) est utilisé pour caractériser les niveaux de bruit dans les bâtiments. Pour traduire les unités physiques dB en unités physiologiques dB(A), il est convenu de pondérer les niveaux sonores pour chaque bande d'octave

Tableau des pondérations A

Fréquence médiane (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
(dB)	- 16	- 8	- 3	0	+ 1	+ 1

Application- tracer les spectres dB et dB(A)

Fréquence médiane (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau sonore (dB)	60	66	78	75	72	70
Pondération (dB)	-16	-8	-3	0	+1	+1
Niveau sonore dB(A)	44	58	75	75	73	71
Niveau global dB(A)			80			

Les dB(A), comme les dB, suivent une échelle logarithmique et sont additionnés de la même façon.

Le dB(A) doit être utilisé avec prudence : en effet deux sons peuvent avoir le même niveau sonore en dB(A) tout en ayant des spectres très différents et l'un pourra être plus gênant que l'autre.

Le dB(A) est utilisé dans le domaine de l'acoustique des bâtiments :

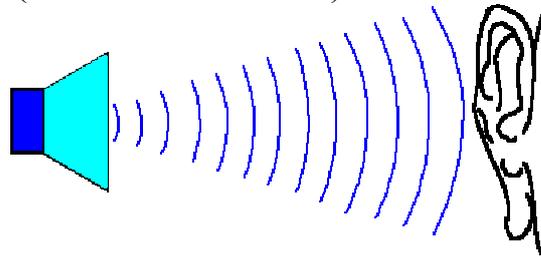
- performance à atteindre
- mesure de contrôle
- caractéristique acoustique d'un produit
- caractéristique acoustique d'un système

1.4 - TRANSMISSION DES BRUITS

Les vibrations sonores se propagent par transfert d'énergie de particules à particules adjacentes

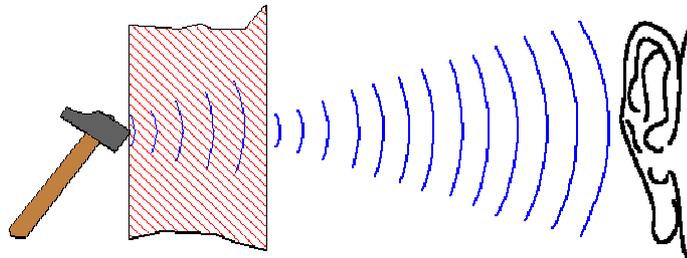
1.41 - Modes de transmission

A - Transmission aérienne (transmission directe)



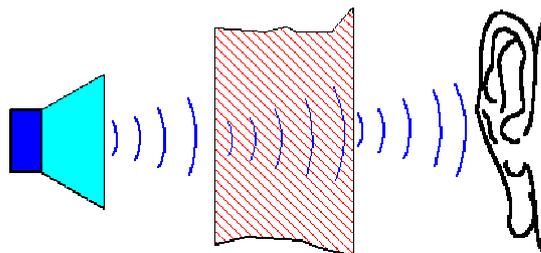
BRUITS AERIENS

B - Transmission solidienne



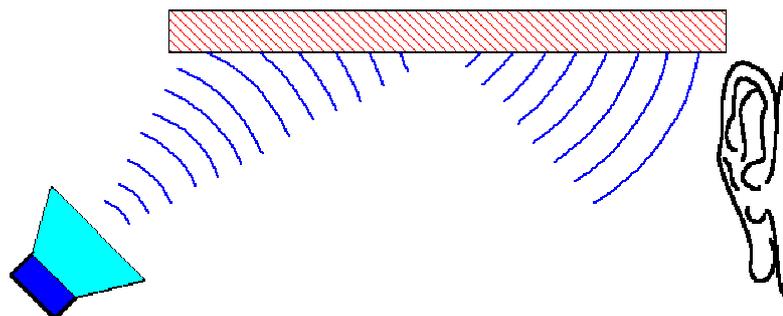
BRUITS D'IMPACT

C - Transmission aérienne et solidienne



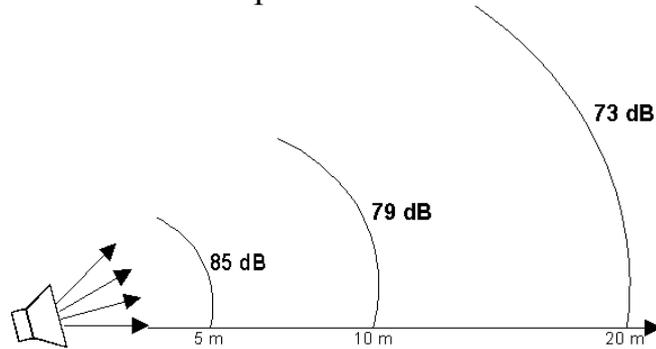
BRUITS AERIENS

D - Réverbération des sons



BRUITS AERIENS REVERBERES

1.42 - Transmission des bruits en champ libre



A partir de 1 m, le bruit perçu décroît de 6 dB chaque fois que l'on double la distance entre la source sonore et le récepteur

Formule mathématique (Norme NFS 96-13)

Décroissance = $20 \log(d) + 8$ (sol absorbant) ou $+5$ (sol réverbérant) si source au sol

Décroissance = $20 \log(d) + 11$ (sol absorbant) ou $+8$ (sol réverbérant) si source en hauteur

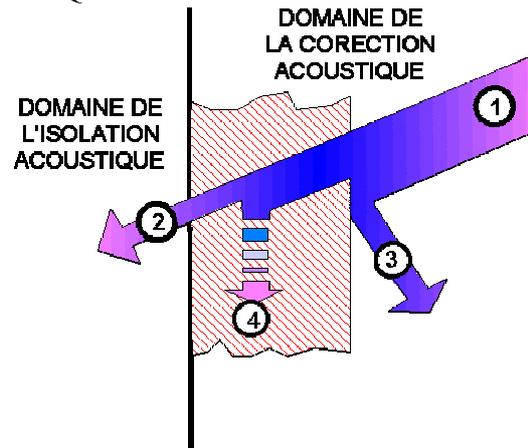
Application

Calculer la perte obtenue pour un éloignement de 5, 10, 20, 50, 100, 300 et 600 m et une source au sol.

14, 20, 26, 34, 40, 50, 56

2 - LE BRUIT ET LES PAROIS

2.1 - ISOLATION ACOUSTIQUE ET CORRECTION ACOUSTIQUE



1 - onde incidente

3 - onde réfléchi ou réverbérée

2 - onde transmise

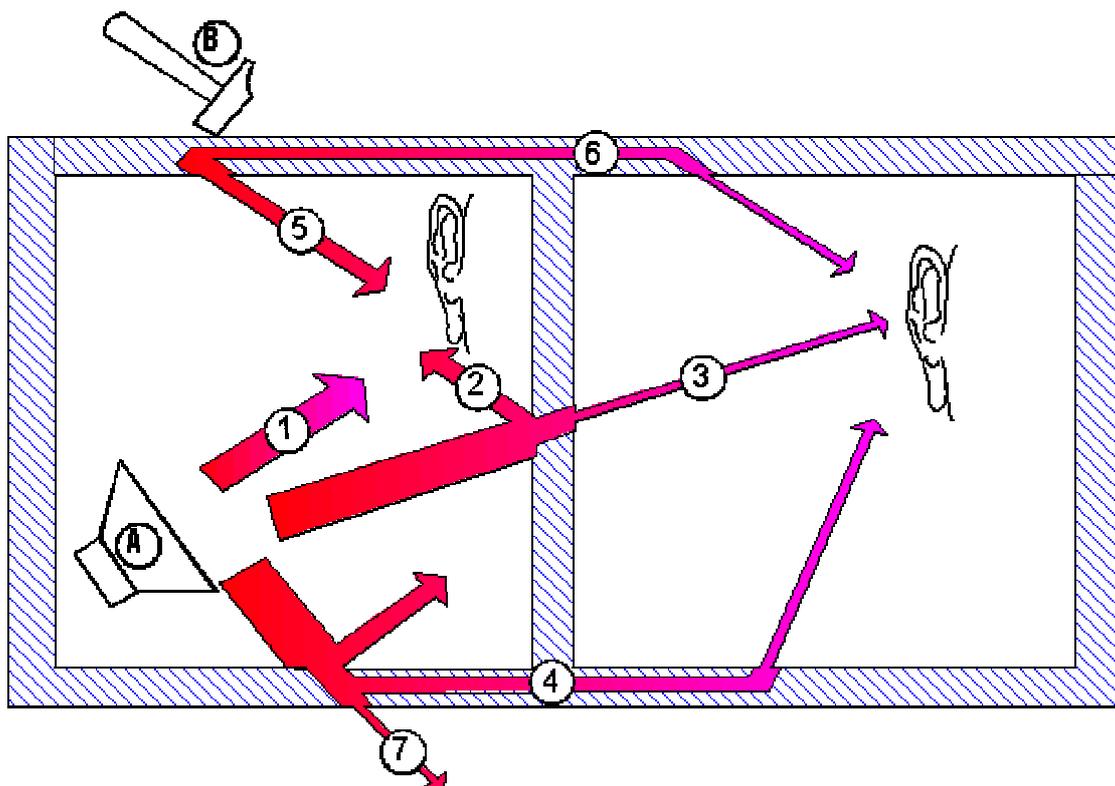
4 - onde absorbée

L'isolation acoustique traite de l'énergie transmise par la paroi

Cette énergie est pratiquement indépendante du caractère plus ou moins absorbant des parements

La correction acoustique traite de l'énergie absorbée et réfléchi par la paroi de manière à diminuer le niveau sonore et améliorer les qualités d'écoute

2.2 – TRANSMISSION ENTRE LOCAUX



- A - source de bruit aérien
- B - source de bruit solide ou d'impact
- 1 - transmission aérienne
- 2 - réverbération
- 3 - transmission aérienne directe
- 4 - transmission latérale d'un bruit aérien
- 5 - réémission d'un bruit d'impact
- 6 - transmission d'un bruit d'impact
- 7 - transmission aérienne directe

3 - LES BRUITS DANS LES BATIMENTS

On distingue 4 types de bruits :

3.1 – LES BRUITS AERIENS INTERIEURS

Ils sont émis dans un local et se propagent dans l'air (chaînes hi-fi, télévision, conversation, etc.)

3.2 – LES BRUITS ARIENS EXTERIEURS

Ils sont émis à l'extérieur de l'immeuble et se propagent dans l'air (circulation automobile, trains, avions)

3.3 – LES BRUITS D'IMPACT

Ils sont émis par une paroi mise en vibration (pas, chute d'objet, déplacement d'objets)

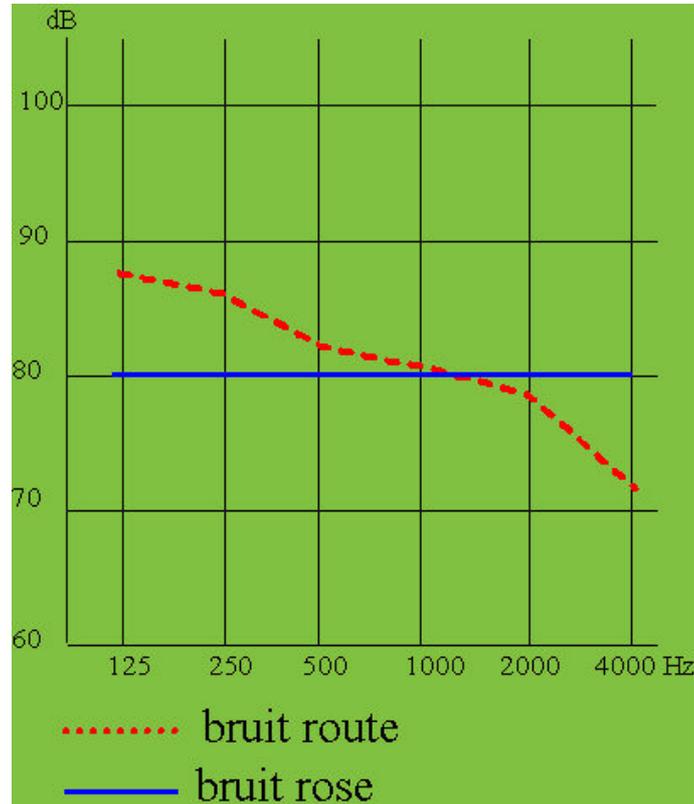
3.4 – LES BRUITS d'EQUIPEMENTS

Ils sont émis par les appareils et installations situés soit dans le logement récepteur (machine à laver, chauffe-eau,...) soit hors du logement récepteur (ascenseurs, tuyauteries, ventilation...)

LES BRUITS NORMALISES

Pour permettre une comparaison directe entre toutes les mesures les pouvoirs publics ont défini des spectres de bruit d'émission standard

3.5 – LE BRUIT ROSE ET LE BRUIT ROUTE



Le bruit rose sert de bruit d'émission de référence pour le bruit émis à l'intérieur des bâtiments (trafic aérien également), son niveau sonore est le même pour chaque bande d'octave (son spectre est une droite horizontale)

Le bruit route sert de bruit d'émission de référence pour le bruit émis par le trafic routier. Ce bruit est plus riche en sons graves que le bruit rose (bruit de roulement sur la chaussée)

3.6 –LE BRUIT D'IMPACT

Le bruit d'impact normalisé est produit par une machine à choc qui comprend 5 marteaux de 500 g tombant de 4 cm au rythme de 10 coups par seconde.

3.7 - REVERBERATION

Pour les mesures de temps de réverbération on utilise un pistolet d'alarme mais n'importe quel moyen de produire un bruit bref et suffisamment fort peut convenir

4. - ISOLATION ACOUSTIQUE

L'isolation est l'ensemble des techniques et procédés mis en œuvre pour obtenir un isolement acoustique recherché.

L'isolement est une performance acoustique souhaitée pour un local par rapport aux locaux voisins

Isolation et isolement dépendent de 3 paramètres

- les propriétés isolantes des matériaux utilisés
- les diverses techniques de mise en œuvre
- le contexte architectural

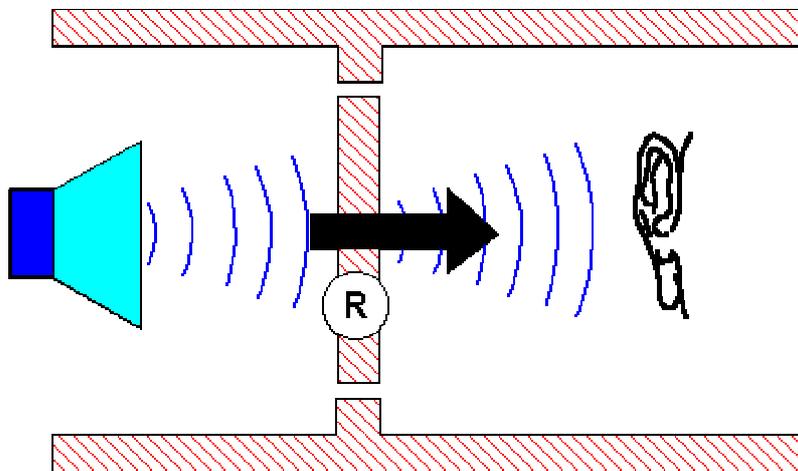
4.1 - les indices normalisés

L'indice d'Affaiblissement Acoustique " R "

L'indice R caractérise la qualité acoustique d'une paroi. C'est à dire sa difficulté à transmettre des bruits aériens. Il est mesuré uniquement en laboratoire et ne prend en compte que la transmission directe (ne prend pas en compte les transmissions latérales). R s'exprime en dB(A). Il est mesuré sur l'ensemble du spectre de 125 à 4000 Hz pour le bruit rose et pour le bruit route.

Il y a donc un R rose et un R route

Plus R est grand, meilleure est la performance.



Exemple de R_{route} pour des produits verriers

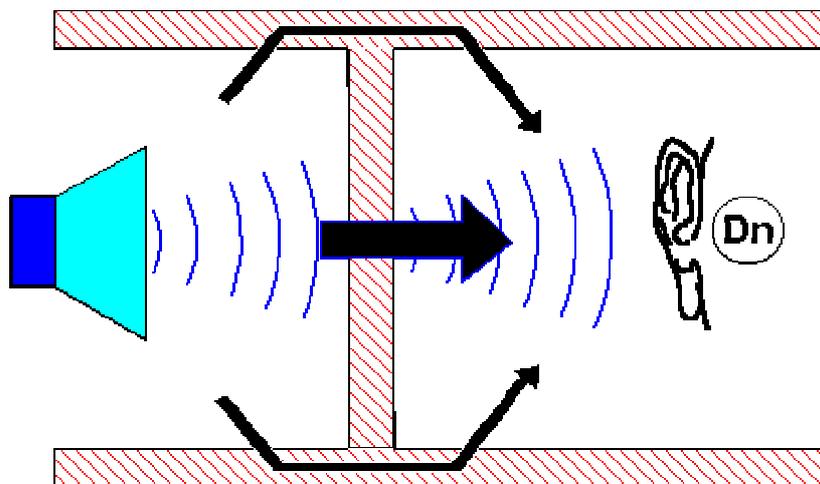
Produits verriers	Epaisseur en mm	R en dB(A)
Vitrage simple	4	28
	10	33
	12	34
Vitrage feuilleté 44.2 66.2	8.8	34
	12.8	36
Vitrage isolant 4 / 6 / 4 4 / 6 / 10	14	28
	20	33
Vitrage isolant résine 11 / 20 / 9	40	45

L'isolement acoustique D_n

L'indice D_n représente la valeur en dB(A) rose ou route de l'isolation acoustique globale, par transmission directe ou indirecte entre 2 locaux ou entre un local et l'extérieur.

C'est une mesure effectuée in situ (selon des normes) qui prend en compte les pertes par les parois latérales.

$D_n = R - \text{transmissions latérales}$



En général et pour une construction bien conçue, avec mise en œuvre des matériaux selon les règles de l'art, l'écart entre R et D_n est de l'ordre de 5 à 8 dB(A)

Pour obtenir un D_n de 54 dB(A), il faudra choisir une paroi avec un R de 61 dB(A)

4.2 - Comment obtenir un bon isolement acoustique ?

Pour réaliser une bonne isolation acoustique, il faut :

- utiliser des matériaux performants
- et le mettre en œuvre suivant les règles de l'art

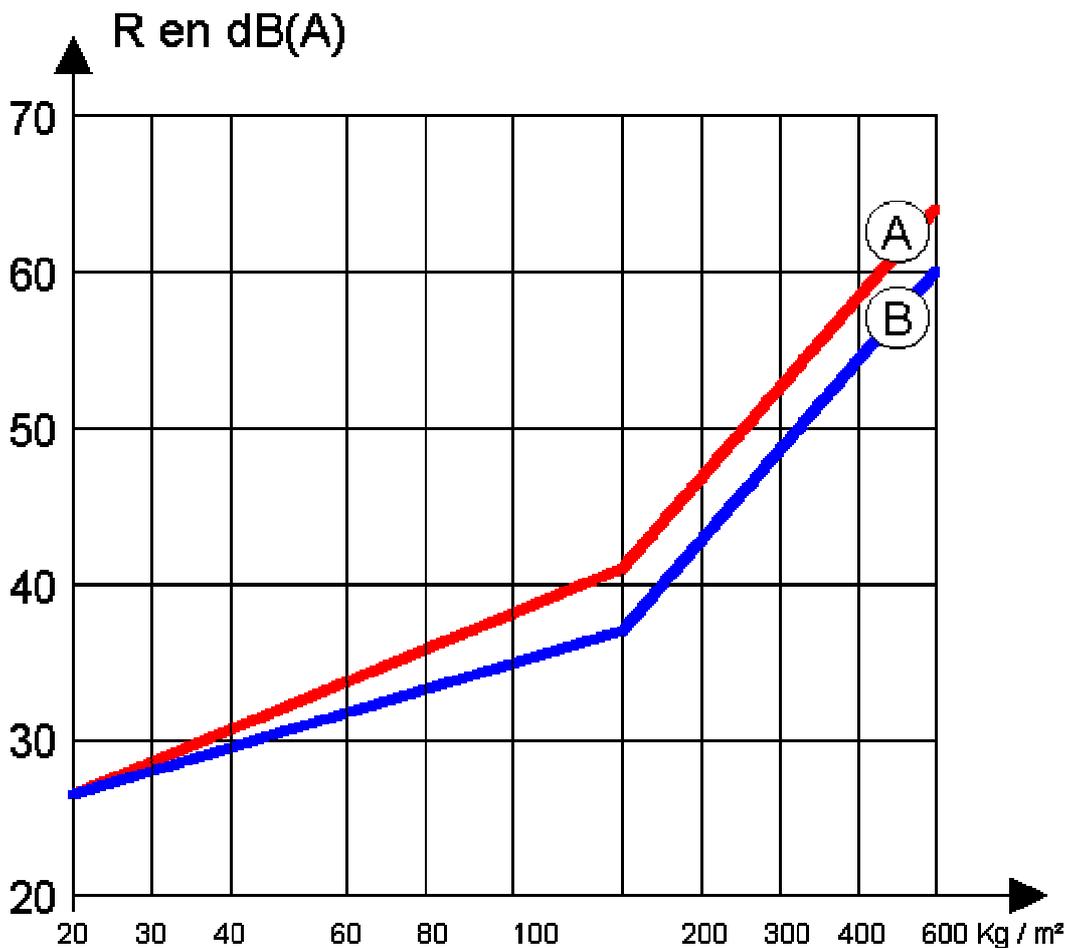
En effet dans le cas d'une isolation thermique le résultat escompté sera proportionnel à la performance de la mise en œuvre (**10 % d'erreur = 10 % de gain en moins**) en ce qui concerne l'isolation acoustique le résultat escompté sera largement amputé par une petite erreur de mise en œuvre (**1 % erreur = 100% de gain en moins**)

Pour obtenir l'isolement acoustique 2 possibilités

- augmenter la masse des parois (loi de masse)
- doubler les parois et incorporer une laine minérale (système masse - ressort - masse)

4.3 Les parois simples - la loi de MASSE

La loi expérimentale de masse montre que R d'une paroi augmente avec sa masse surfacique à condition que cette paroi soit homogène, rigide et étanche à l'air (plus une paroi est pesante plus elle isole des bruits aériens)



A : loi de masse expérimentale pour un bruit rose

B : loi de masse expérimentale pour un bruit route

MATERIAUX	Kg / m ³	MATERIAUX	Kg / m ³
Pierre lourde	2700	bois lourd	750
grés	2200	bois léger	450
béton plein	2300	contreplaqué	450
béton léger	1500	verre	2500
mortier	1900	acier	7780
brique pleine	1700	aluminium	2700
fibrociment	1800	plomb	11340
plâtre	1300	zinc	7130
bloc de béton plein	2000	bloc de béton creux	1300
béton cellulaire	500	brique creuse	750

4.4 - Méthode empirique

VALEUR A RETENIR

Une paroi de 100 kg/m² apporte un isolement de 40 dB aux bruits aériens à la fréquence de 500 Hz. En doublant la masse surfacique de la paroi on augmente la valeur de l'isolement de 4 dB

Application

Quel est l'affaiblissement acoustique d'une paroi construite en briques pleines de 22 cm d'épaisseur ?

Faites les calculs aux bruits roses, routes et à 500 Hz

Masse surfacique = 0,22 x 1700 = 374 kg / m²
D'après abaque, R route = environ 53 dB (A)

R rose = environ 57 dB (A)
R à 500 Hz :
une paroi de 100 kg/m² isole de 40 dB (A)
une paroi de 200 kg/m² isole de 44 dB(A)
une paroi de 400 kg/m² isole de 48 dB(A)

La masse de la paroi étant de 374 kg/m² donc proche de 400 kg/m²; R sera d'environ 47 dB(A)

2. Quelle devra être l'épaisseur de béton plein nécessaire pour satisfaire la NRA dans le cas d'un voile séparant deux pièces principales de deux appartements (54 dB(A) aux bruits roses) ?

Il faut que la paroi ait une masse surfacique d'environ 340 kg / m² avec un matériau de 2300 kg / m³
donc 340 / 2300 = 0,147 m

4.5 - Méthode expérimentale

MASSE SURFACIQUE	BRUIT ROSE	BRUIT ROUTE
inférieure à 50 kg / m ²	R = essai de laboratoire	R = essai de laboratoire
comprise entre 50 et 150 kg / m ²	$R = (17 \log ms) + 4$	$R = (13 \log ms) + 9$
comprise entre 150 et 700 kg / m ²	$R = (40 \log ms) - 46$	
comprise entre 150 et 670 kg / m ²		$R = (40 \log ms) - 50$
supérieure à 700 kg / m ²	R = 68 dB(A)	
supérieure à 670 kg / m ²		R = 63 dB(A)

Application

Quel est l'indice d'affaiblissement acoustique R rose en dB(A) d'un mur séparatif en béton plein de 18 cm d'épaisseur ?

R=59

Quel est l'indice d'affaiblissement acoustique R route en dB(A) d'un mur extérieur constitué de :

- enduit de mortier de 20 mm
- bloc de béton creux de 20 cm
- enduit de plâtre de 10 mm

R = 54

4.6 - Loi de fréquence

Lorsque la fréquence du son double, le coefficient R de la paroi augmente de 4 dB (A)

VARIATION DE L'ISOLEMENT POUR UNE PAROI DE 100 kg / m²

Fréquence en Hz	R en dB(A)
125	32
250	36
500	40
1000	44
2000	48
4000	52

Application

Calcul de l'isolement d'une paroi en fonction de sa masse et de la fréquence du son. Quel isolement aux sons de fréquence 100, 250, 500, 1000 et 2000 Hz, apporte un mur construit en briques pleines de 0.22 m enduit sur chaque face de 1.5 cm de plâtre ?

- masse surfacique :
briques = $0.22 \times 1700 = 374 \text{ kg / m}^2$
enduit = $0.03 \times 1300 = 39 \text{ kg / m}^2$
masse surfacique totale = 413 kg / m^2

- isolement :
masse surfacique voisine de 400 kg / m^2
donc à 500 Hz :
 $100 \text{ kg / m}^2 = 40 \text{ dB(A)}$
 $200 \text{ kg / m}^2 = 44 \text{ dB(A)}$
 $400 \text{ kg / m}^2 = 48 \text{ dB(A)}$

- à 250 Hz : 44 dB(A)
- à 125 Hz : 40 dB(A)

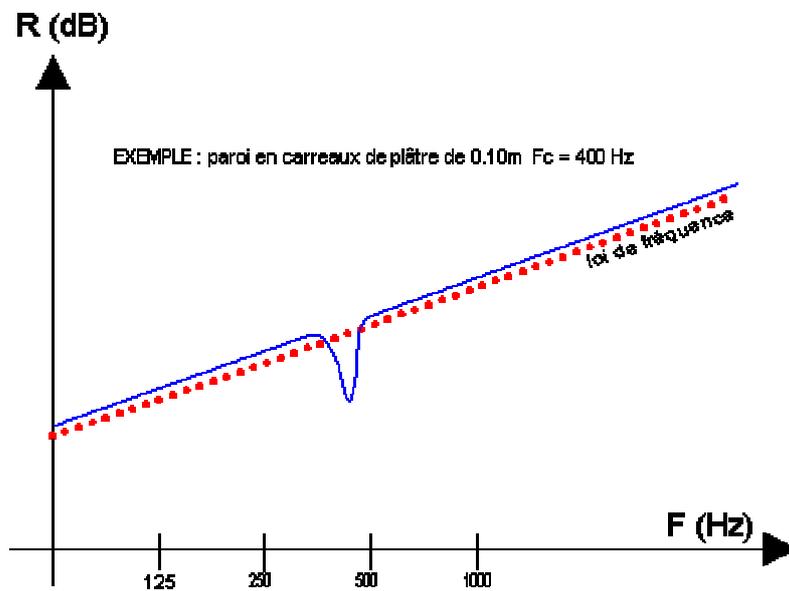
donc à 100 Hz :
environ 38 à 39 dB(A)
à 1000 Hz : 52 dB(A)
à 2000 Hz : 56 dB(A)

Bilan :

Selon la loi de masse il est plus facile d'obtenir un bon isolement pour les hautes fréquences (aiguës) que pour les basses fréquences (graves) puisque pour la même exigence on aura besoin d'une paroi 2 fois moins épaisse.

4.7 - La fréquence critique

Toutes les parois ont un défaut d'isolement, c'est à dire qu'il y a une chute de l'indice d'affaiblissement acoustique pouvant aller jusqu'à 10 dB à une certaine fréquence appelée FREQUENCE CRITIQUE (F_c). Celle ci dépend de la nature des matériaux et de leur épaisseur.



Exemple de quelques fréquences critiques :

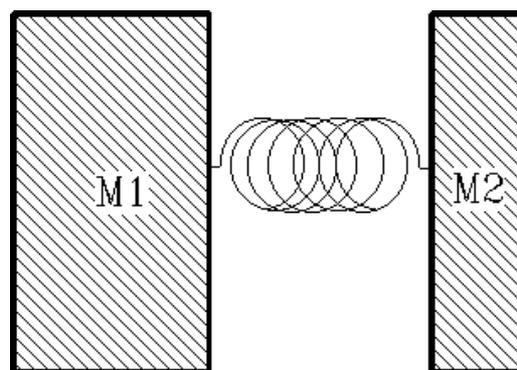
- Béton de 0.20 d'épaisseur 90 Hz
- Béton de 0.10 d'épaisseur 180 Hz
- Glace de 10 mm 1200 Hz
- Plaque de plâtre de 10 mm 4000 Hz

4.8 - Les parois doubles - système MASSE - RESSORT - MASSE

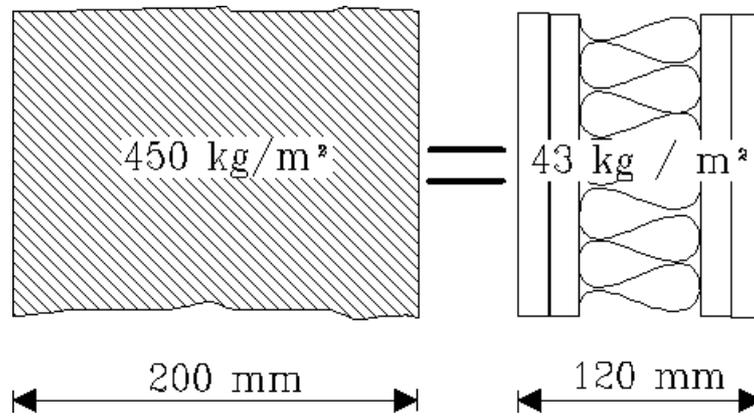
Elles sont constituées de deux éléments simples séparés par une lame d'air rempli ou non par un matériau absorbant (double vitrage, cloison en plaques de plâtre)

cas d'une lame d'air : l'air joue seulement le rôle de ressort

cas d'un espace rempli de laine minérale : l'air de la laine joue le rôle de ressort, la laine minérale intervient en plus comme amortisseur (en absorbant l'énergie des particules d'air en mouvement)



L'utilisation d'une paroi double permet d'atteindre des isolements très largement supérieur à ceux d'une paroi simple de même masse surfacique.



4.9 - La fréquence de résonance

Une paroi double a une fréquence critique propre, si l'une des masses est soumise à une vibration de même fréquence, il y aura résonance. A cette fréquence les sons passeront mieux et l'indice d'affaiblissement acoustique chutera.

Formule mathématique

$$F_{rés} = 840 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

$F_{rés}$: fréquence de résonance en hertz

d : distance entre les parements en cm

m_1 et m_2 : masse surfacique des parements en kg/m^2

Pour que la chute de l'isolement à la fréquence de résonance ne soit pas préjudiciable il faut que ladite fréquence de résonance soit située soit avant 125 Hz soit après 4000 Hz

Application :

Calculer la fréquence de résonance d'une cloison réalisée sur ossature métallique et constituée de :

- 1 plaque de BA 13 de chaque cotés
- une lame d'air de 48 mm (ossature métallique de 48 mm)

description de la paroi		distance entre parements en cm	nombre de peau	épaisseur en cm de chaque peau	poids unitaire en kg/m^2	poids/m ² en kg
parement 1	BA13		1	1,3	16,9	16,9
parement 2	BA13		1	1,3	16,9	16,9
intervalle	VIDE	4,8				
Fréquence de résonance		131,9	Hz			

Que constatez-vous ?

La fréquence de résonance est dans la zone d'émission de la parole : l'isolement sera mauvais

Changeons la masse des parois :

- Si l'on met une double peau (2 BA13) sur une face de la cloison -

description de la paroi		distance entre les parements en cm	nombre de peau	épaisseur en cm de chaque peau	poids unitaire en kg/m²	poids/m² en kg
parement 1	BA13		1	1,3	16,9	33,8
parement 2	BA13		2	1,3	16,9	33,8
intervalle	VIDE	4,8				
Fréquence de résonance		114,2	Hz			

La fréquence de résonance baisse mais reste toujours dans la zone d'émission de la parole

- Si l'on met une double peau sur les deux faces de la cloison -

description de la paroi		distance entre les parements en cm	nombre de peau	épaisseur en cm de chaque peau	poids unitaire en kg/m²	poids/m² en kg
parement 1	BA13		2	1,3	16,9	33,8
parement 2	BA13		2	1,3	16,9	33,8
intervalle	VIDE	4,8				
Fréquence de résonance		93,3	Hz			

La fréquence de résonance s'éloigne de la zone d'émission de la parole

Changeons la distance entre les parois :

- Si l'on met 1 plaque de chaque coté d'une ossature de 90 mm -

description de la paroi		distance entre les parements en cm	nombre de peau	épaisseur en cm de chaque peau	poids unitaire en kg/m²	poids/m² en kg
parement 1	BA13		1	1,3	16,9	16,9
parement 2	BA13		1	1,3	16,9	16,9
intervalle	VIDE	9				
Fréquence de résonance		96,3	Hz			

On obtient pratiquement le même résultat qu'avec deux doubles peaux à une distance de 48 mm Cette solution sera moins chère.

- Si l'on met 2 plaques de chaque coté d'une ossature de 90 mm -

description de la paroi		distance entre les parements en cm	nombre de peau	épaisseur en cm de chaque peau	poids unitaire en kg/m²	poids/m² en kg
parement 1	BA13		2	1,3	16,9	33,8
parement 2	BA13		2	1,3	16,9	33,8
intervalle	VIDE	9				
Fréquence de résonance		68,1	Hz			

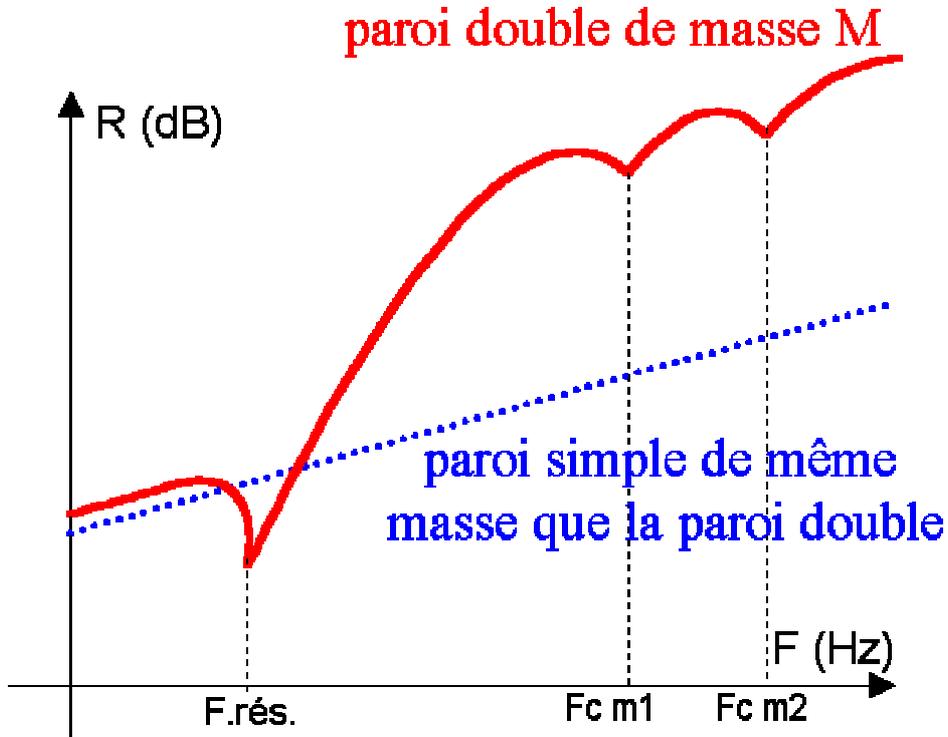
La solution est ici optimale.

➡ La distance entre des parois doit être importante

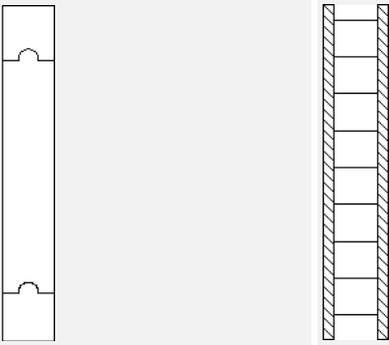
RECAPITULATIF :

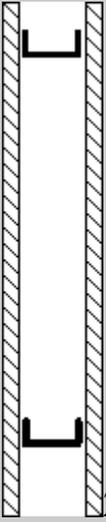
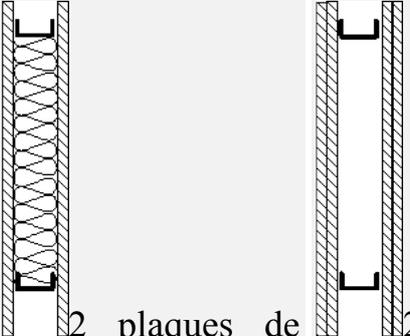
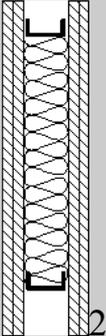
L'indice d'affaiblissement R d'une paroi double dépend :

- 1 - de la masse des éléments rigides M1 et M2
- 2 - de l'épaisseur de la lame d'air séparant les parements
- 3 - de l'épaisseur de la fibre minérale située entre les parements
- 4 - de la fréquence critique de chacun des parements
- 5 - de la fréquence de résonance de l'ensemble



4.10 - Exemples de valeurs d'isolement de cloisons de distribution en fonction de leur nature

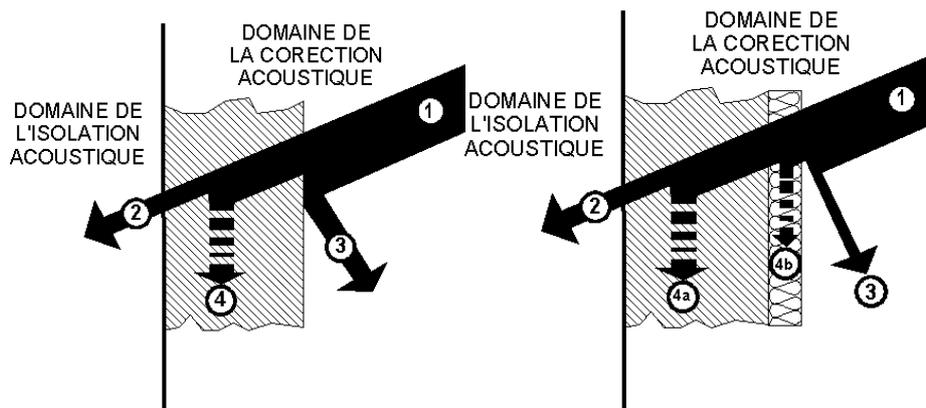
Isolement (D_{nAT})	Nature des cloisons	Appréciation de l'utilisateur
30 dB (A)	 <p>Carreaux de plâtre 2 plaques de BA13 avec réseau cartonné</p>	INEFFICACE on entend tous d'une pièce à l'autre

35 dB (A)	 <p>2 plaques de plâtre BA13 sur ossature métallique</p>	<p>FAIBLE</p> <p>On entend les voix mais on ne comprend pas tout</p>
40 dB (A)	 <p>2 plaques de plâtre BA13 sur ossature + 50 mm de laine minérale</p> <p>2 X 2 plaques de plâtre BA13 sur ossature métallique</p>	<p>ASSEZ BON</p> <p>On perçoit une conversation sans rien comprendre</p>
45 dB (A)	 <p>2 X 2 plaques de plâtre BA13 sur ossature + 50 mm de laine minérale</p>	<p>BON</p> <p>Le logement est calme, toutes les conversations sont inaudibles</p>

Cette appréciation peut varier selon le bruit ambiant: plus celui-ci est faible, plus il est facile de percevoir des bruits à travers la cloison

5. LA CORRECTION ACOUSTIQUE

5.1 REFLEXION ET ABSORPTION



En mettant un matériau fibreux sur la paroi on augmente la partie d'énergie absorbée au détriment de l'énergie réfléchi. Sa structure poreuse laisse pénétrer l'énergie et la disperse dans son épaisseur avant de la convertir en chaleur.

LE MATERIAU FIBREUX DIMINUE LA QUANTITE D'ENERGIE REFLECHIE. IL N'A AUCUN EFFET SUR L'ENERGIE TRANSMISE.

La correction acoustique d'un local ne constitue pas une solution pour l'isolation acoustique du local adjacent.

5.2 - L'absorption acoustique - le coefficient α Sabine

Le degré d'absorption acoustique d'un matériau est caractéristique est caractérisé par le coefficient α Sabine, qui détermine la quantité d'énergie absorbée par une paroi par rapport à la quantité d'énergie incidente.

Le coefficient α Sabine permet de comparer les performances des différents produits.

Si α Sabine = 1 ou tend vers 1

Cela signifie que la paroi a absorbé la totalité de l'énergie et que rien n'est réfléchi : le matériau est absorbant

Si α Sabine = 0 ou tend vers 0

Cela signifie que la paroi a réfléchi la totalité de l'énergie et que rien n'est absorbé : le matériau est réverbérant

α Sabine est mesuré en laboratoire et varie en fonction de la fréquence.

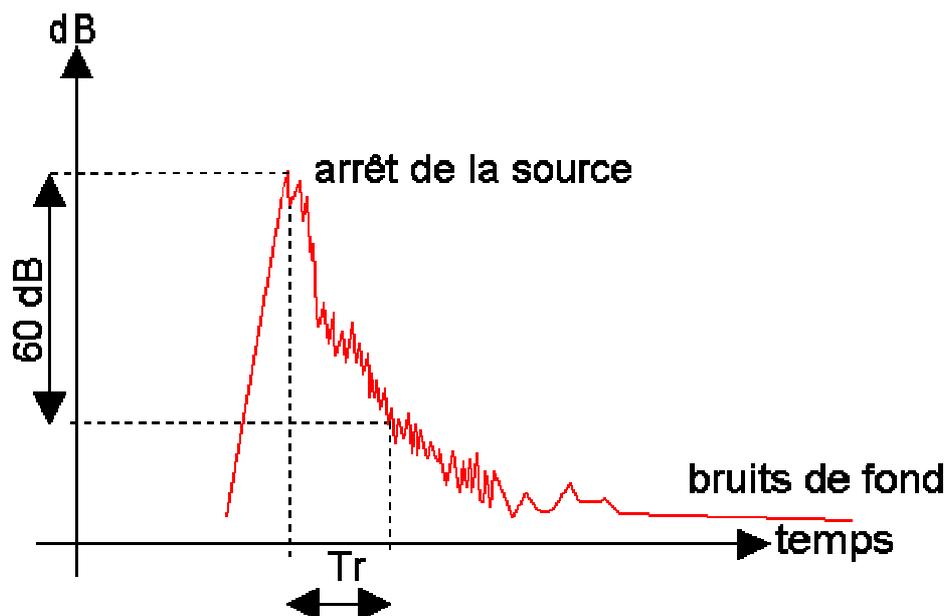
MATERIAUX	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
béton brut	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.07
crépi grossier	0.01	0.03	0.04	0.04	0.08	0.17
enduit de ciment lisse		0.01	0.02	0.02	0.02	
plâtre brut	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.08
plâtre peint	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
staff		0.02	0.03	0.05	0.04	
briques	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
glace épaisse	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
vitrage courant	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
porte en bois traditionnelle		0.11	0.10	0.09	0.08	
porte plane en bois		0.22	0.17	0.09	0.10	
rideaux lourds à plis	0.09	0.33	0.40	0.52	0.50	0.44
carrelage		0.01	0.02	0.03	0.04	
dalles plastiques collées	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.02
parquet sur lambourdes	0.20	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07
parquet collé	0.04	0.04	0.07	0.07	0.07	0.07
linoléum sur feutre		0.08	0.09	0.10	0.12	
moquette sur thibaude	0.14	0.32	0.45	0.45	0.40	0.35
tapis haute laine		0.30	0.40	0.50	0.60	
contreplaqué 5 mm espacé de 5 cm	0.47	0.34	0.30	0.11	0.08	0.08
tôle perforée et laine minérale	0.26	0.33	0.56	0.79	0.65	0.45
plâtre perforé et laine minérale	0.05	0.18	0.61	0.68	0.39	0.30
panneau de fibres isolant	0.06	0.11	0.33	0.40	0.40	0.43
panneau de laine minérale 4 cm	0.30	0.70	0.88	0.85	0.65	0.60
fibragglo contre la paroi	0.13	0.11	0.22	0.54	0.85	0.71
fibres de roche projetées	0.12	0.43	0.76	0.88	0.85	0.71

PERSONNES ET MOBILIER						
chaise vide			0.02	0.03	0.04	0.04
fauteuil rembourré relevé			0.32	0.28		0.30 0.34
personne isolée debout		0.15	0.25	0.35	0.45	0.55 0.55
personne assise sur une chaise		0.10	0.15	0.32	0.42	0.55 0.55
personne assise dans un fauteuil		0.20	0.30	0.36	0.44	0.45 0.45

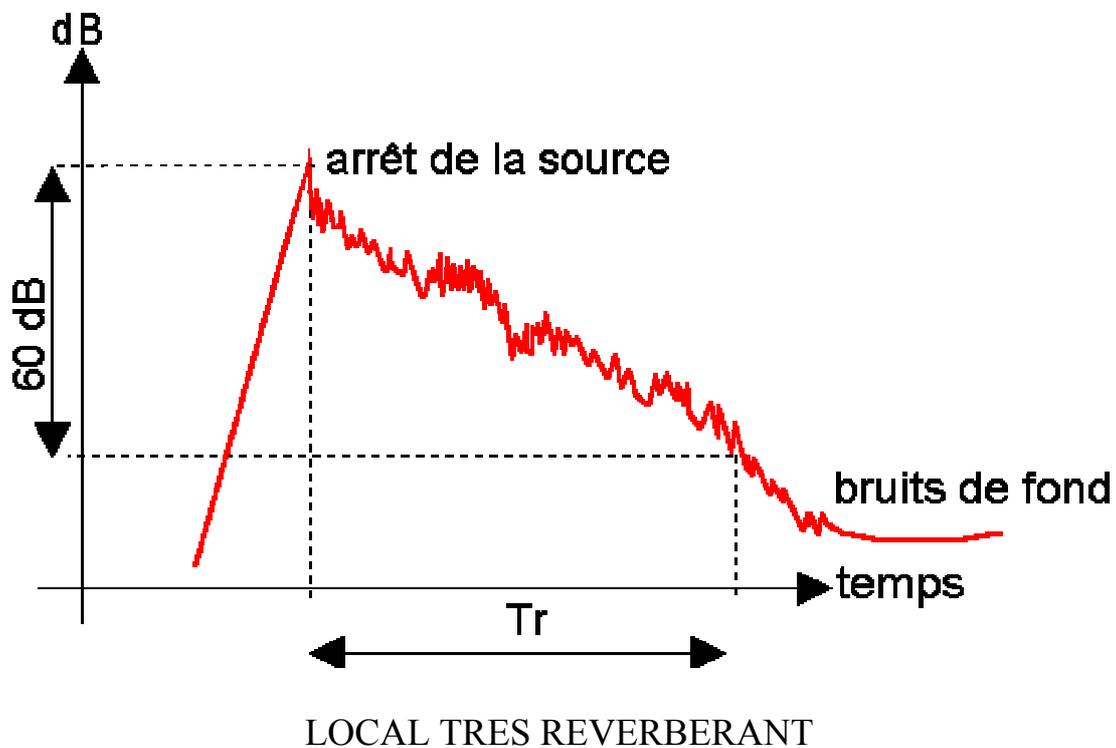
5.3 - LA DUREE DE REVERBERATION

Le comportement acoustique d'un local se caractérise par un temps ou durée de réverbération T_r (ou T_{60})

Ce temps de réverbération est le temps exprimé en secondes, nécessaires pour que le niveau sonore d'un local diminue de 60 dB lors de l'arrêt brusque de la source sonore.



LOCAL PEU REVERBERANT



5.31 - Mesure de Tr

Le temps de réverbération se mesure à l'aide d'une source sonore et d'un sonomètre à enregistreur graphique

5.32 - Calcul de Tr

Le temps de réverbération peut se calculer. La formule de Sabine permet d'estimer simplement le comportement d'un local. Ce calcul peut être effectué pour l'ensemble des fréquences.

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

Tr : temps de réverbération en seconde

0.16 : constante

V : volume du local en m³

A : aire d'absorption équivalente

L'aire d'absorption équivalente est égale à la somme de chaque surface multipliée par son coefficient alpha Sabine:

$$A = \sum \alpha S$$

Le Tr varie proportionnellement au volume : (plus le local est grand, plus il est réverbérant)

Le Tr varie inversement proportionnellement à l'aire d'absorption équivalente

Application

Calculer le temps de réverbération aux fréquences de 250, 500, 1000 et 2000 Hz pour le local suivant : Longueur : 6.00 m - Largeur : 4.00 m - Hauteur : 3.00 m

1 Porte 2.00 x 0.90 - 2 fenêtres vitrées 1.50 x 1.00 - Plafond plâtre peint - Murs plâtre peint - /-Sol carrelage

		CONFIGURATION DE LA PIECE												
Longueur en m	6,00	volume	72,00	M3										
largeur en m	4,00	surface au sol	24,00	M2										
hauteur en m	3,00													
portes type 1	nombre 1	hauteur 2,00	largeur 0,90	surface 1,80										
fenêtres type 1	nombre 2	hauteur 1,50	largeur 1,00	surface 3,00										
Désignations	Nature	surfaces	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz						
		en M ²	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$	α	$\alpha \times S$
Plafond	plâtre peint	24,00	0,01	0,24	0,01	0,24	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96	0,05	1,20
Sol	carrelage	24,00	0,01	0,24	0,01	0,01	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96	0,05	1,20
Murs	plâtre peint	55,20	0,01	0,55	0,01	0,55	0,02	1,10	0,03	1,66	0,04	2,21	0,05	2,76
Portes	plane	1,80	0,22	0,40	0,22	0,40	0,17	0,31	0,09	0,16	0,10	0,18	0,10	0,18
fenêtres	courante	3,00	0,35	1,05	0,25	0,75	0,18	0,54	0,12	0,36	0,07	0,21	0,04	0,12
TOTAL				2,48		1,95		2,91		3,62		4,52		5,46
Temps Réverbération seconde	de en			4,65		5,91		3,96		3,18		2,55		2,11

Quel sera alors de Tr si l'on traite le plafond en posant un plafond suspendu ? en panneau de laine de verre 600 x 600 type CHORUS - ECOPHON de 20 mm d'épaisseur ayant le coefficient d'absorption Sabine suivant :

à 125 Hz 0.40 ; à 250 Hz 0.50 ; à 500 Hz 0.50 ; à 1000 Hz 0.50 ; à 2000 Hz 0.55 ; à 4000 Hz 0.30

Désignations	Nature	surfaces en M ²	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
			α	$\alpha \times S$										
Plafond	ECOPHON	24,00	0,40	9,60	0,50	12,00	0,50	12,00	0,50	12,00	0,55	13,20	0,30	7,20
Sol	carrelage	24,00	0,01	0,24	0,01	0,01	0,02	0,48	0,03	0,72	0,04	0,96	0,05	1,20
Murs	plâtre peint	49,80	0,01	0,50	0,01	0,50	0,02	1,00	0,03	1,49	0,04	1,99	0,05	2,49
Portes	plane	1,80	0,22	0,40	0,22	0,40	0,17	0,31	0,09	0,16	0,10	0,18	0,10	0,18
fenêtres	courante	3,00	0,35	1,05	0,25	0,75	0,18	0,54	0,12	0,36	0,07	0,21	0,04	0,12
TOTAL				11,78		13,65		14,32		14,74		16,54		11,19
Temps de Réverbération en seconde				0,89		0,77		0,73		0,71		0,63		0,94

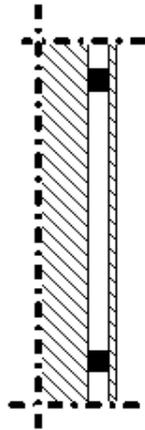
Calculer le Tr de la salle de cours dans laquelle vous vous trouvez.

5.4 Les principaux procédés d'ABSORPTION

Il y a trois procédés d'absorption acoustique chacun plus ou moins bien adapté aux fréquences basses médiums ou aiguës

5.41 L'effet de membrane (grave)

Les membranes constituées de panneaux fléchissant placés à une certaine distance d'une paroi sont efficaces pour les basses fréquences



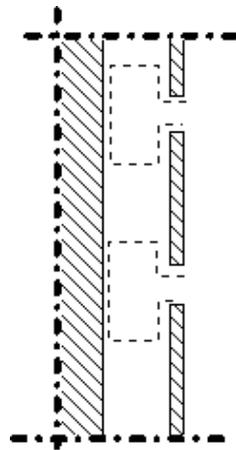
L'énergie acoustique est absorbée par déformation du panneau. Les fréquences absorbées sont d'autant plus graves que la lame d'air est plus grande.

L'absorption est maximale à la fréquence de résonance du système

5.42 L'effet résonateur (médiums)

Les résonateurs sont souvent des plaques perforées ou rainurées qui, en créant des espaces de forme

" bouteille " devant une paroi, absorbent l'énergie des fréquences médiums



L'énergie est absorbée par effet ressort de l'air contenu dans le col du résonateur (perforation)

L'absorption est sélective et dépend du diamètre des perforations et est surtout efficace dans les médiums

5.43 L'effet dissipateur (aiguës) - matériaux poreux

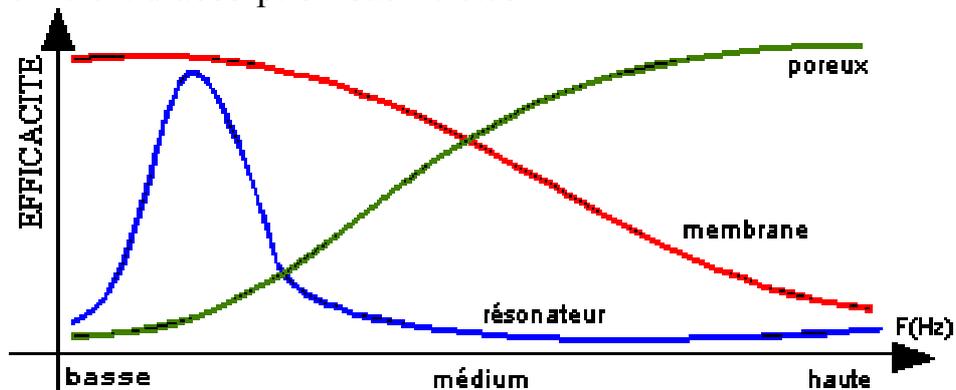
Les matériaux fibreux comme les laines minérales laissent pénétrer et piègent les ondes sonores grâce à leur porosité. La réduction sonore est fonction de 2 paramètres :

- . La résistance spécifique au passage de l'air
- . L'épaisseur de l'isolant

Un matériau comme le "gyptone de placoplâtre" combine les trois procédés pourvu qu'une laine minérale soit posée derrière.

exemple : GYPTONE QUATRO N° 20 avec lame d'air de 10 cm et laine minérale de 8 cm

à 125 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.55
à 250 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.90
à 500 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.85
à 1000 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.75
à 2000 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.70
à 4000 Hz coefficient d'absorption Sabine 0.73



5.5 Correction Acoustique et Baisse du Niveau sonore

Quand on réalise la correction acoustique d'un local celle-ci a pour effet de diminuer le niveau de la source sonore du local.

Le gain se calcule par la formule suivante :

$$R = 10 \log \frac{Tr \cdot \text{avant} \cdot \text{travaux}}{Tr \cdot \text{après} \cdot \text{travaux}}$$

Application

Gain en dB(A) si le Tr passe de 4 à 2 secondes : ^{3 dB(A)}