

Isolement acoustique

Le confort acoustique associé à un environnement sonore agréable font depuis quelques années partie de la demande explicite des maîtres d'ouvrage (qu'ils soient publics ou privés). Cependant sous sa forme technique, l'acoustique n'intervient souvent qu'en fin de conception, et le dialogue architecte-spécialiste est peut-être là plus qu'ailleurs un "dialogue de sourds".

Les quelques notions développées dans ce qui suit sont destinées à faciliter la mission de l'architecte :

- en apportant les concepts minimums
- en donnant des ordres de grandeur
- en proposant des solutions argumentées dans des cas simples

La réglementation ne peut-être passée sous silence (il y est constamment fait référence en acoustique) elle sera donc évoquée, sans oublier cependant :

- qu'elle n'est en aucun cas une garantie de confort (elle doit être considérée comme un minimum à atteindre)
- que même respectée elle ne met pas à l'abri de poursuites (avec éventuellement une responsabilité engagée)
- qu'elle est toujours un compromis entre des volontés politiques d'un moment et les moyens techniques (et économiques) possibles à cette époque... donc qu'elle est en perpétuelle évolution.

De façon classique, les acousticiens distinguent deux types de bruits lors de l'approche de l'isolement dans les bâtiments :

- les bruits aériens (transmission sonore par l'air ambiant) qui se subdivisent en bruits provenant de l'extérieur du bâtiment (bruit routier par exemple) et ceux qui arrivent des locaux voisins.
- les bruits solidiens (transmission sonore par la structure du bâtiment) pour lesquels les bruits de pas constituent une catégorie spécifique. Les autres bruits solidiens sont surtout constitués par les équipements techniques (ascenseurs, robinetterie, chauffage ...).

Cette distinction est assez artificielle, et représente plus une volonté de classement qu'une réalité. En effet pour notre oreille (ou pour la membrane d'un microphone dans le cas d'un appareil de mesure) le bruit, variation de pression, est transmis et perçu par voie aérienne (il existe des capteurs de vibration qui sont des récepteurs de contact dont nous ne parlerons pas).

La distinction entre bruit aérien et bruit solidien est donc liée essentiellement au **type d'émission sonore** (source de bruit initiale) :

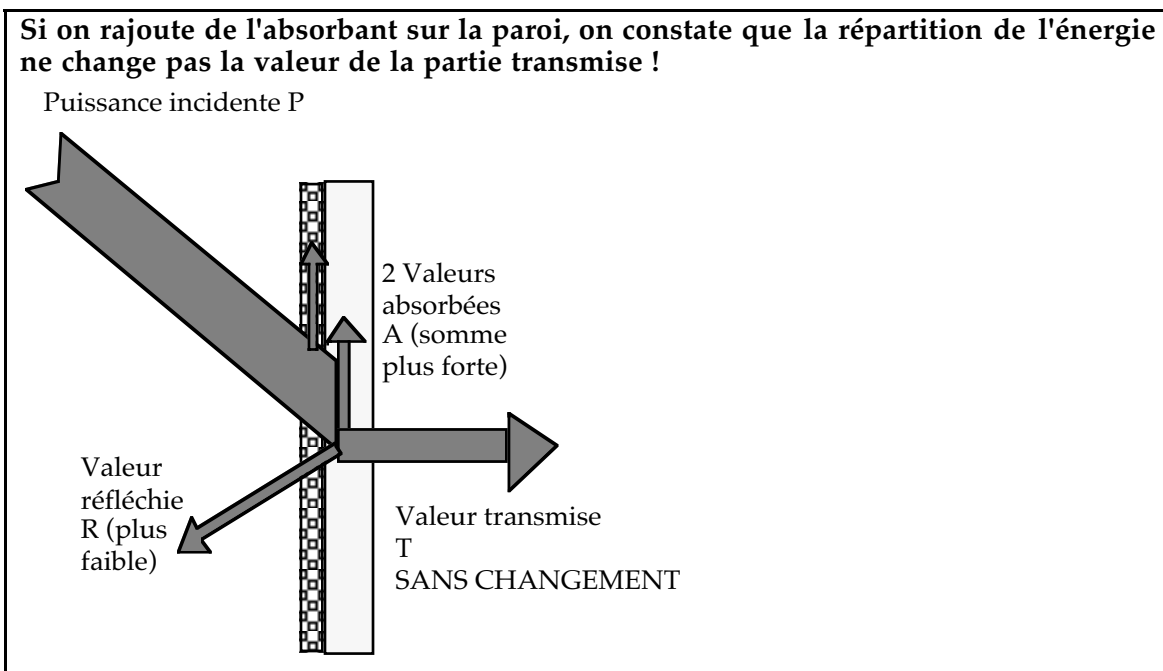
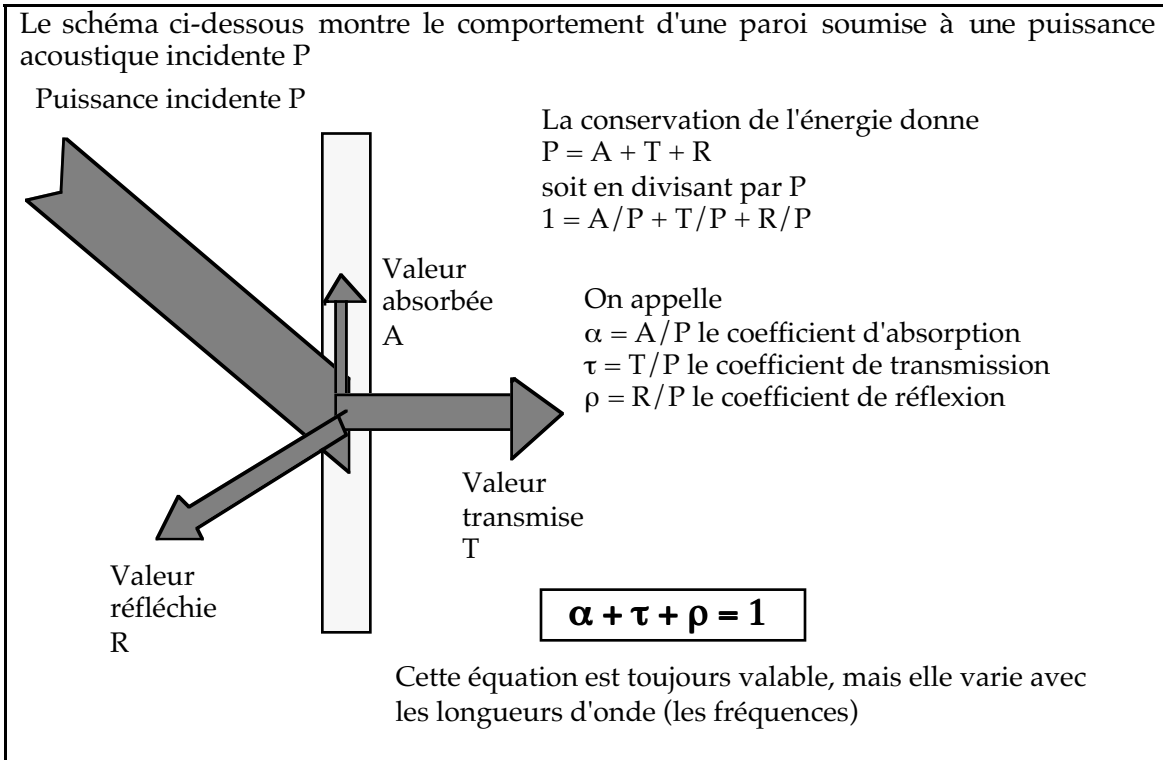
- bruit aérien : si cette source émet principalement dans l'air. Les principales sources de ce type sont la voix humaine, tous les haut parleurs ou vibreurs sonores (radio, télévision, téléphone, sonnette d'entrée...)
- bruit solidien : si cette source émet de façon privilégiée sur les éléments solides du bâtiment (pas du voisin de dessus, vidange d'un lavabo, dilatation d'une conduite de chauffage...)

En pratique il y a souvent croisement des deux types de bruit :

- une porte palière qui claque transmet une vibration à la structure et un bruit aérien chez le voisin
- passage d'un poids lourd (d'un train)

Il est probablement utile de rappeler en préambule qu'il **ne faut pas confondre isolement et absorption** (une fenêtre ouverte est un absorbant parfait et un isolant nul !).

De plus, les transferts d'énergie d'un local au local voisin sont d'une valeur tellement faible (souvent inférieures à $1/100\ 000^{\circ}$) qu'il est inutile d'espérer améliorer l'isolement en recouvrant la paroi de séparation d'un matériau absorbant : la réflexion dans le local d'émission sera plus faible, mais la transmission sera identique !



1 - Isolement aux bruits aériens entre deux locaux

Il dépend de nombreux facteurs que nous allons d'abord lister

1 - de l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré "R" (en dB) de la paroi (ou des parois) de séparation. Cet indice ne dépend que de la paroi (ou des parois) et se mesure en laboratoire.

2 - de la surface de la paroi séparation (en mètres carrés)

variation en $10 \lg S_1/S_2$

3 - du volume du local de réception (en mètres cubes)

variation en $10 \lg V_1/V_2$

4 - de la durée de réverbération des locaux (en secondes)

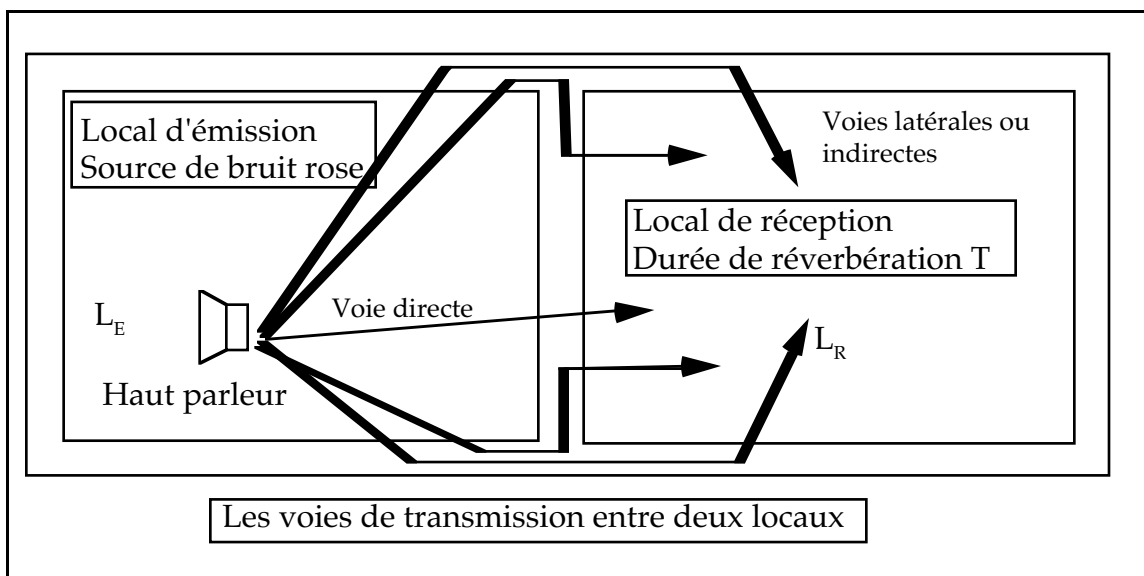
variation en $10 \lg Tr_1/Tr_2$

5 - des transmissions sonores se propageant par d'autres voies que par la paroi (ou les parois) séparative (transmissions indirectes ou parasites, en dB).

Dans cette liste, le point 1 dépend du choix des matériaux et les points 2 à 5 de la conception. Il existe enfin un critère qui échappe au concepteur

6 - du type de bruit à l'émission (critère réglementaire : bruit rose, routier, ou indice "w"¹).

Le schéma ci-dessous résume ces principaux facteurs



1.1 - Indice d'affaiblissement acoustique pondéré "R" et type de bruit à l'émission

Nous regroupons ces deux points ensemble car les bruits codifiés sont utilisés aussi pour la mesure en laboratoire. On obtiendra donc trois résultats selon le bruit d'origine : R_{rose} , R_{route} , R_w qui seront différents.

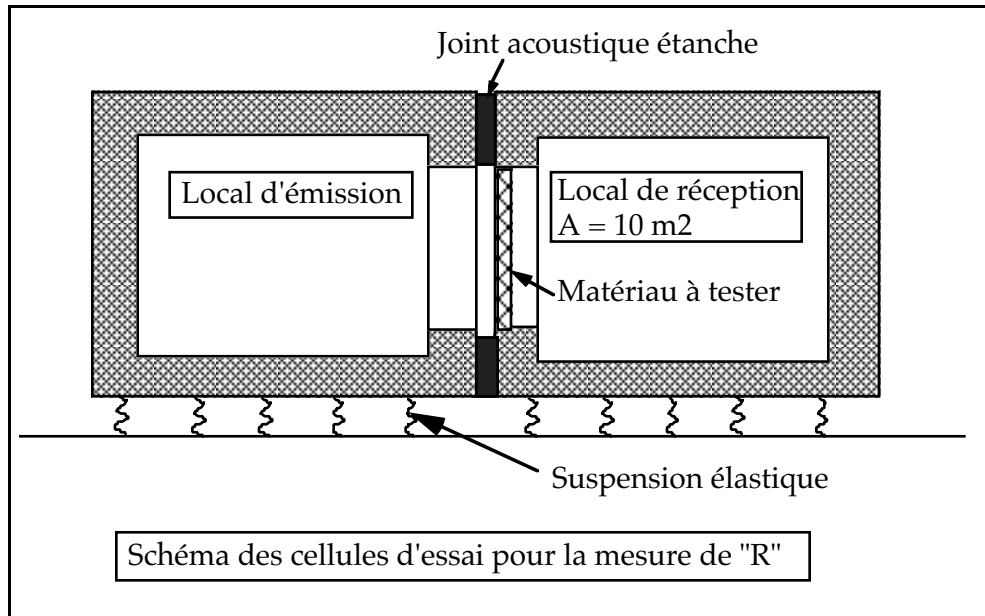
Pour le fabricant de produits du bâtiment (et pour le législateur) il est nécessaire de tester les performances acoustiques d'une paroi (ou d'un élément de la construction : une fenêtre par exemple) de telle façon que seul cet élément soit testé, indépendamment des autres éléments. Il faut en plus que cette mesure soit facile à réaliser, fiable, et répétitive. Cette définition est celle d'une mesure en laboratoire, où un seul paramètre varie à la fois, et où il est donc possible de tester l'influence de ce paramètre seul (épaisseur de la paroi, taille de la fenêtre, ouverture de la bouche d'aération...).

Mais pour rendre cette mesure aussi simple et répétitive que possible, il faut mettre au point un "code d'essai". Celui-ci comprend essentiellement deux aspects :

¹Le bruit "rose" correspond à un critère utilisé très largement en France depuis les années 1960 le bruit "route" est destiné aux isollements par rapport aux bruits extérieurs, l'indice "w" est le plus récent en France (norme ISO/DIN) et tendra à se substituer au bruit "rose". Il n'est pas très utile d'entrer dans le détail du calcul de ces indices, par contre il est essentiel de comprendre pourquoi chacun donne des résultats d'isolement différent !

- aspect matériel : une cellule d'essai composée de deux salles très isolées de l'extérieur, désolidarisées l'une de l'autre. Leur seul "contact" étant l'élément à tester, il est admis que dans ce cas le résultat obtenu est celui de cet élément. Ce mode de mesurage est adopté au niveau international.

- aspect mesure : un bruit type, rose, route ou indice "w" (car nous verrons par la suite que les parois n'isolent pas de la même façon à toutes les fréquences) et une durée de réverbération du local de réception (sinon le niveau reçu varie de $10 \log Tr_1 / Tr_2$) qui se concrétise par une aire d'absorption équivalente de $A = 10 \text{ m}^2$



Cette mesure peut être effectuée dans différents laboratoires agréés, et son résultat communiqué dans le catalogue du fabricant (avec le procès-verbal de mesure cité en référence).

L'indice d'affaiblissement acoustique R permet donc de comparer les performances de différents produits, de prévoir des isolements, **mais il ne chiffre en aucun cas directement l'isolement que procurera ce produit in-situ !**

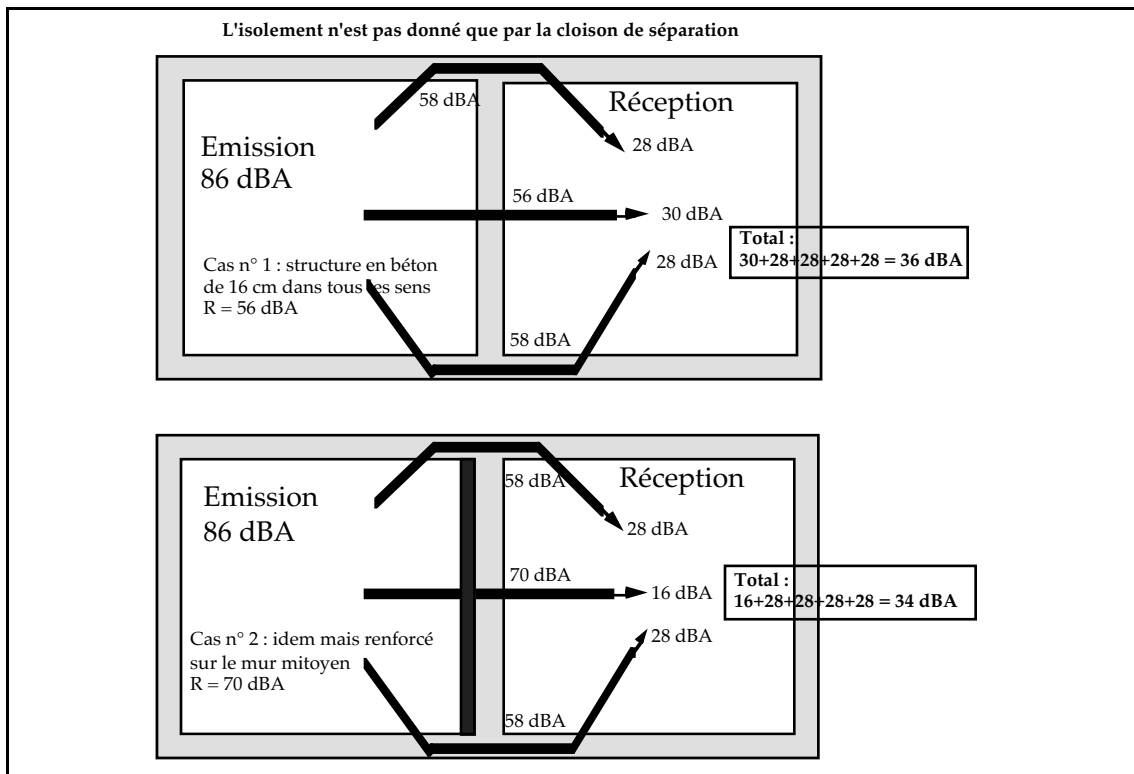
L'exemple ci-dessous illustre la réalité du bâti :

On constate sur ce schéma que l'isolement réel est la somme de l'isolement procuré par la paroi de séparation (56 dBA, ce qui donne donc 30 dBA en réception) et des 4 contributions des parois latérales (58 dBA, donc 28 dBA en réception). La somme quadratique² donnant 36 dBA en réception, on constate qu'il y a seulement un isolement réel de 50 dBA, avec pourtant un ensemble de parois qui isolent chacune séparément de 56 dBA !

Si on renforce la paroi (par un procédé efficace POUR LA PAROI) seule la transmission directe est changée, les transmissions latérales restent inchangées. L'isolement final est donc de $86 - 34 = 52 \text{ dBA}$, alors que la paroi seule isole de 70 dBA !

Les transmissions latérales sont bien connues des spécialistes, mais malheureusement moins des architectes et du grand public qui ne pensent souvent le renforcement sonore qu'en terme de paroi séparative.

²qui utilise la "table d'addition des décibels", ou des outils de calcul



1.2 - Isolement in-situ

Seul un test acoustique réalisé une fois la construction terminée (lors de la réception de chantier ou plus tard) permet de rendre compte de l'isolement réel entre locaux

- du point de vue contractuel ou réglementaire (c'est d'ailleurs le propre de la réglementation française qui est une obligation de résultats)
- du point de vue du confort des usagers

Cette mesure englobe en fait les points 2 à 5 cités plus haut.

Nous allons détailler la mesure, pour comprendre les contraintes légales.

Elle se décompose en deux temps.

1.2.1 - Isolement brut : Db^3 $Db = L_E - L_R$

C'est la simple différence entre le niveau de pression acoustique à l'émission L_E , et le niveau de pression acoustique à la réception L_R .

Influence des critères de conception :

- si les volumes des deux locaux (émission et réception) sont différents, cette mesure variera selon le sens où on l'effectue ("dilution" sonore plus forte dans un grand local)

- pour une émission L_E constante, la durée de réverbération du local de réception va influencer le résultat (si Tr du local de réception diminue, L_R va diminuer et donc Db va augmenter).

Cette dernière constatation signifie que des modes de vie différents (meubles et parois réfléchissants, ou tentures et tapis) vont conditionner des résultats de mesure différents. Or le législateur veut tester le bâtiment, et non son usage ! Pour éviter ces différences, la réglementation introduit la notion de "durée de réverbération de référence".

1.2.2 - Isolement Acoustique standardisé pondéré

$$Dn = Db + 10 \log T/T_0$$

Dans ce cas

- le bruit à l'émission est l'un des bruits normalisé (rose, route, indice "w")

³Attention à l'écriture : dB (décibel) et Db (isolement brut)

- la réception est supposée être faite dans un local où la réverbération est connue, et fixée par un texte réglementaire : T_0 .

La valeur de la durée de réverbération de référence T_0 est de 0,5 secondes à toutes les fréquences pour le logement et les locaux scolaires.

Comme en général le local n'a pas cette durée de réverbération, le terme

$10 \log T/T_0$ intervient comme un terme correctif (la durée de réverbération dans un logement peu varier de 1,8 secondes pour des locaux très réverbérants à 0,3 seconde pour des locaux très absorbants, quand aux salles de cours elles vont jusqu'à 4 secondes !).

Influence des critères de conception : aucun (c'est le but visé) !

Nota : L'isolement normalisé se note le plus souvent sous la forme abrégée $D_{nT,A}$ ce qui signifie qu'il est donné pour la durée de réverbération T de référence du moment, et en valeur globale (dBA).

1.3 - Les relations entre : R - Db - Dn

Pour le concepteur, il est important de pouvoir prévoir des valeurs de $D_{nT,A}$ à partir des données d'un catalogue R.

Pour cela, il lui faudra connaître :

- les paramètres géométriques de ses locaux (surface des parois, volume des locaux)

- un paramètre acoustique $T = 0,16 V/A$ pour le local de réception

- les valeurs des transmissions latérales dont l'ordre de grandeur ne peut être déterminé rapidement que dans des cas simples (on peut approcher les valeurs dans des cas-type, ou pour des structures homogènes)

et éviter lors de la conception et de la réalisation les transmissions parasites et les ponts phoniques.

C'est sur ce dernier point qu'il existe le plus d'erreurs liées

- à la conception : façades filantes, boîtiers techniques encastrés ...

- à la réalisation : jointoiement des fissures, colmatage des passages de canalisations ...

Le calcul (voir feuille annexe) donne le résultat suivant :

$$Dn = R - 5 + 10 \lg \frac{V}{S} - a$$

avec V = volume du local testé (m^3)

S = surface de la paroi de séparation (m^2)

a = valeur des transmissions latérales (dB : voir tableau joint)

Nota : cette méthode du coefficient "a" pour les transmissions latérales n'est que la plus simple, et la plus rapide ... c'est donc aussi la moins précise. Il existe des logiciels qui traitent plus précisément de toutes les situations de liaison entre éléments de structure ou de second oeuvre.

Influence sur les critères de conception.

Un cas très classique d'augmentation des transmissions latérales est celui des cloisons légères :

- soit cloisons de distribution entre locaux

- soit isolation thermique par rapport à l'espace extérieur

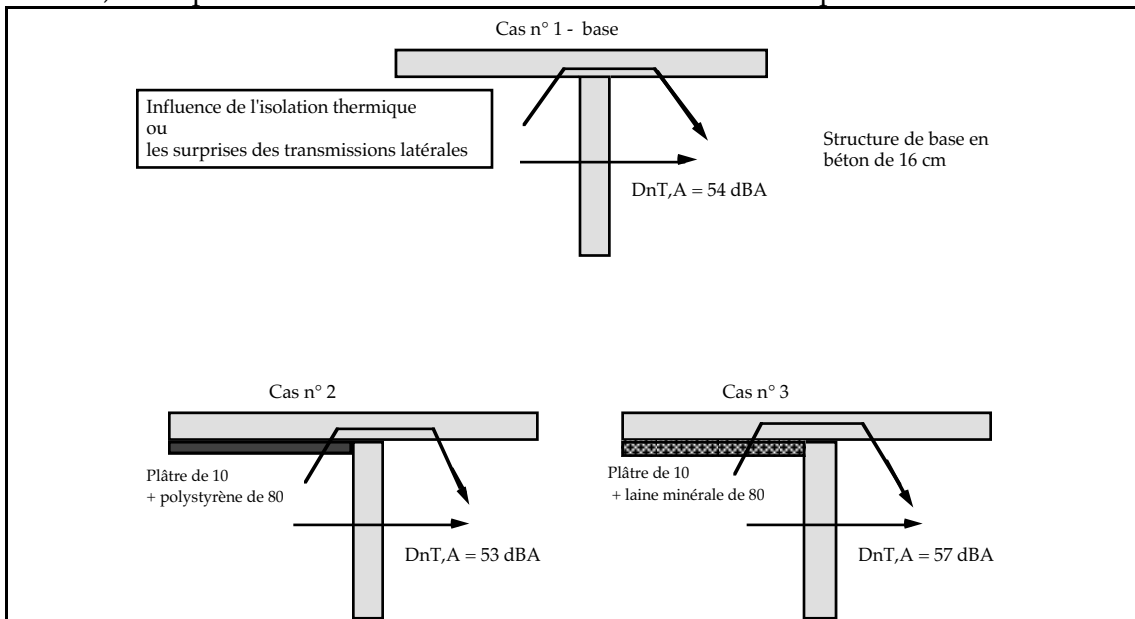
Dans ces deux cas, il faut avant tout éviter que la cloison puisse "rayonner" l'énergie acoustique (comme une peau de tambour) en utilisant des matériaux non rigides, et en les montant sur des supports non rigides eux aussi. Chaque "erreur" de ce type pouvant diminuer de 2 à 3 dBA le résultat d'isolement.

Exemple de parois rigides : carreaux de plâtre, briques plâtrière ...

parois non rigides : bois, plaques de plâtre ... mais les mêmes matériaux montés sur de supports en polyuréthane ou en polystyrène redeviennent rigides ! Attention donc aux parements thermiques à base de produits de ce type lorsque les critères acoustiques sont difficiles à obtenir !

Dans tous les cas, et pour éviter ce rayonnement, il serait souhaitable de ne pas fixer rigidement la paroi légère aux parois lourdes (liaison élastique ... plus facile à dire qu'à faire).

Le schéma qui suit montre comment des parements thermiques externes peuvent améliorer ou réduire la transmission interne. Le choix du type de parement (rayonnant ou non) est capital dans les cas où l'isolement demandé est important.



Le choix du type de paroi séparative et des parois latérales conditionnant le résultat final d'isolement, il convient maintenant de comprendre comment un matériau participe à cet isolement.

1.4 - Les paramètres qui influent sur les valeurs de "R" dans le cas de parois simples et homogènes

1.4.1 - Loi de masse et loi de fréquence

Pour une paroi de grande dimension (par rapport aux longueurs d'onde) et de grande rigidité, soumise à des ondes planes d'incidence variées (champ diffus) l'indice d'affaiblissement acoustique R est exprimé par l'expression théorique suivante :

$$R = 20 \log M_s \cdot f - 48$$

avec

M_s = masse surfacique de la paroi (kg/m^2) et f = fréquence du son incident.

Cette loi donne une variation de 6 dB par octave de masse ou de fréquence.

Mais cette loi est très théorique, et la pratique montre que pour une paroi de dimensions finies, et à élasticité non nulle, le phénomène se complique

- formation de résonances aux fréquences graves (dimensions proches des longueurs d'onde)

- déformations par ondes de flexion dans la structure (élasticité). Quand cette onde de flexion se déplace à la même vitesse que l'onde incidente (le bruit d'émission) on a pour cette fréquence particulière (dite critique) une perte de performance très importante de la courbe d'isolement. La valeur de cette fréquence critique dépend :

- de la nature du matériau

- elle est inversement proportionnelle à son épaisseur. On la donne en général par cm de matériau : f_c pour 1 cm de béton = 1 800 Hz

$$\text{donc } f_c \text{ pour 20 cm de béton} = 90 \text{ Hz}$$

M. Meisser a donné une **méthode empirique pour estimer l'allure de la courbe** de R^4 pour une paroi simple homogène, partir sur une valeur de base de :

40 dB à 500 Hz pour une masse surfacique de $100 \text{ kg}/\text{m}^2$

avec 4 dB de variation par octave de masse ou de fréquence, soit :

+4 dB en doublant la fréquence

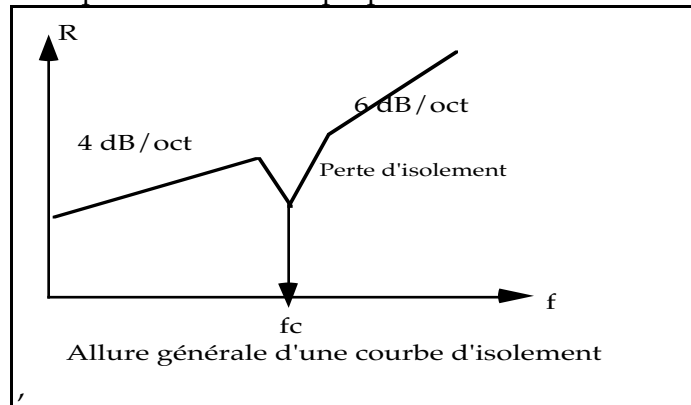
+ 4 dB en doublant la masse

⁴MEISSER : *La pratique de l'acoustique dans le bâtiment* Paris Cated-Eyrolles. 1971. 130p

La chute à la fréquence critique sera alors de :

- 10 dB pour des matériaux très rigides (acier, verre, brique...)
- 6 à 8 dB pour des matériaux rigides (béton, plâtre, bois ...)
- 3 à 4 dB pour des matériaux peu rigides (liège, plomb ...)

enfin après cette fréquence critique, la courbe aura une pente de 6 dB/octave de fréquence. Le schéma qui suit illustre ces propriétés :

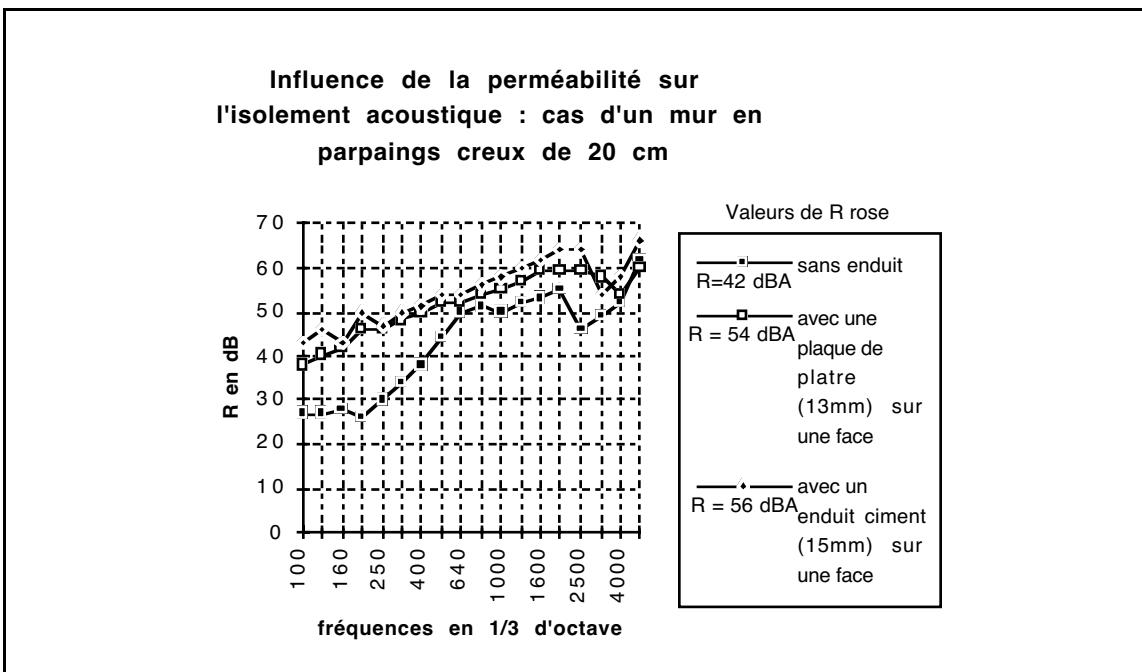


Remarquez que si dans le schéma ci-dessus la masse de la paroi était doublée, l'ensemble des courbes se décalerait de 4 dB vers le haut, et la fréquence critique descendrait d'une octave.

Nota : l'allure des courbes de "R" montre qu'elles sont toujours plus isolantes dans les fréquences aiguës que dans les graves. Ceci explique qu'une valeur de "R" pour un bruit "rose" sera toujours plus forte que pour un bruit "route" (ce dernier étant proportionnellement plus chargé d'énergie dans les fréquences graves, là où la paroi isole peu !)⁵

1.4.2 - Loi de porosité

La porosité à l'air d'une paroi constitue une perte d'isolement (en général dans les fréquences aiguës). Cette porosité doit être évitée par un enduit qui interviendra toujours dans ce cas avec une efficacité bien supérieure au simple complément de masse qu'il apporte.



⁵voir en annexe un exemple d'isolement différent avec 2 bruits type

1.4.3 - Loi de masse expérimentale

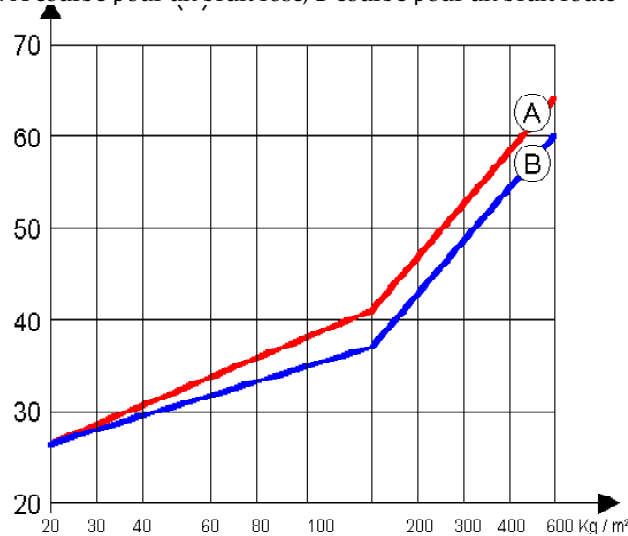
Le CATED a répertorié les caractéristiques "R" d'un grand nombre de matériaux, et a pu ainsi regrouper ces résultats dans une courbe donnant directement des valeurs en dBA. **Ces valeurs ne sont qu'indicatives !**

L'intérêt de cette loi est pratique : à partir d'une masse surfacique on peut estimer la valeur de "R" correspondante.

Cette courbe est aussi très pédagogique : on constate vite les limites de l'augmentation de l'épaisseur des matériaux (donc de leur masse) pour isoler plus !

Exemple : béton de 16 cm d'épaisseur soit 400 kg/m^2 R = 58 dBA
il faudra passer à 18 cm (450 kg/m^2) pour atteindre R = 60 dBA
à 20 cm (500 kg/m^2) pour atteindre R = 62 dBA
et à 24 cm (600 kg/m^2) pour atteindre R = 66 dBA

Les courbes ci-dessous : A courbe pour un bruit rose, B courbe pour un bruit route - Valeurs de R en dBA



1.4.4 - Parois simples hétérogènes

Pour ce type de parois, (agglomérés de béton pleins, briques pleines, carreaux de plâtre...) on n'obtient jamais la même valeur que pour la paroi homogène, même pour une mise en oeuvre "parfaite" (joints parfaitement réalisés). Les résultats sont inférieurs de 2 à 4 dBA.

1.5 - Les parois multiples

L'idée (fausse) qui conduit à construire des parois multiples est de penser que les indices d'affaiblissement acoustique de plusieurs parois montées en série vont s'ajouter ! (comme les valeurs de résistance thermique).

Exemple (FAUX) : en utilisant la loi de masse expérimentale on pourrait alors penser obtenir

paroi 1 : 20 kg/m^2 $R_1 = 27 \text{ dBA}$) total : 70 kg/m^2

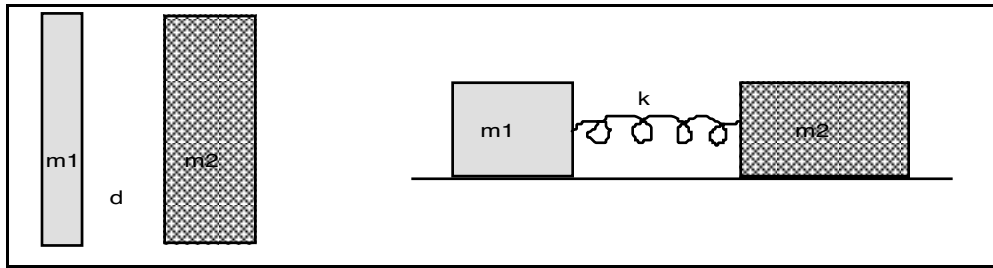
paroi 2 : 50 kg/m^2 $R_2 = 33 \text{ dBA}$) total : 60 dBA

alors que nous venons de voir qu'il faut 450 kg/m^2 avec une paroi simple !

Ce résultat est malheureusement faux, la réalité est plus complexe !

1.5.1 - Parois doubles

En fait il existe une liaison entre les différentes parties d'une paroi multiple, en mécanique cette liaison s'appelle un "couplage", et le schéma mécanique équivalent à une double paroi est représenté par un système dit "masse - ressort - masse" représenté ci-dessous



Les deux parois sont couplées ensemble par l'espace d'air comme les deux masses sont couplées par le ressort de raideur k. Le système mécanique de droite montre que si on fait vibrer la masse de gauche (par exemple), la masse de droite va vibrer avec un retard, et avec une amplitude fonction des caractéristiques générales du système (étude simple avec les outils mathématiques appropriés).

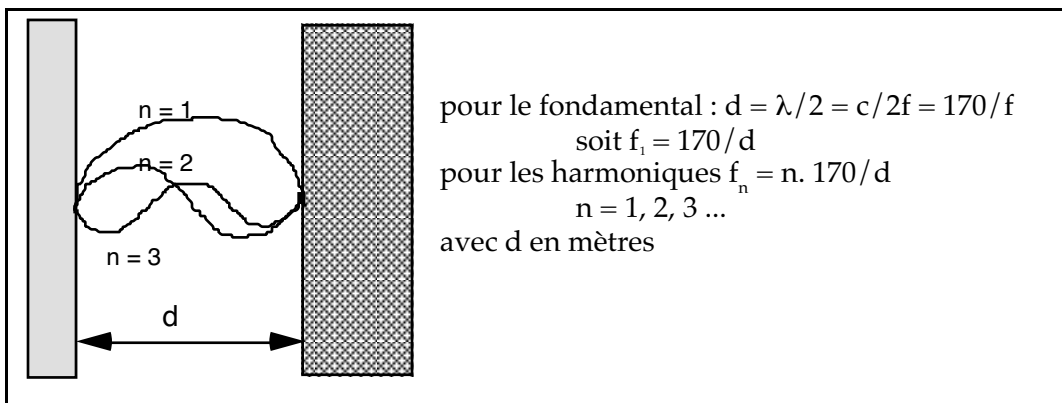
Les paramètres à prendre en compte sont les suivants:

- la masse surfacique des deux parements m1 et m2 (en kg/m²)
- l'épaisseur d de la lame d'air (en m)... et l'épaisseur de fibres minérales situées entre les parements
- la fréquence critique de chaque parement
- les modes de liaison mécanique

Les valeurs caractéristiques d'une telle paroi sont les suivantes :

- fréquence de résonance $f_{rés} = 84 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$

- résonances de la lame d'air $f_n = n \frac{170}{d}$

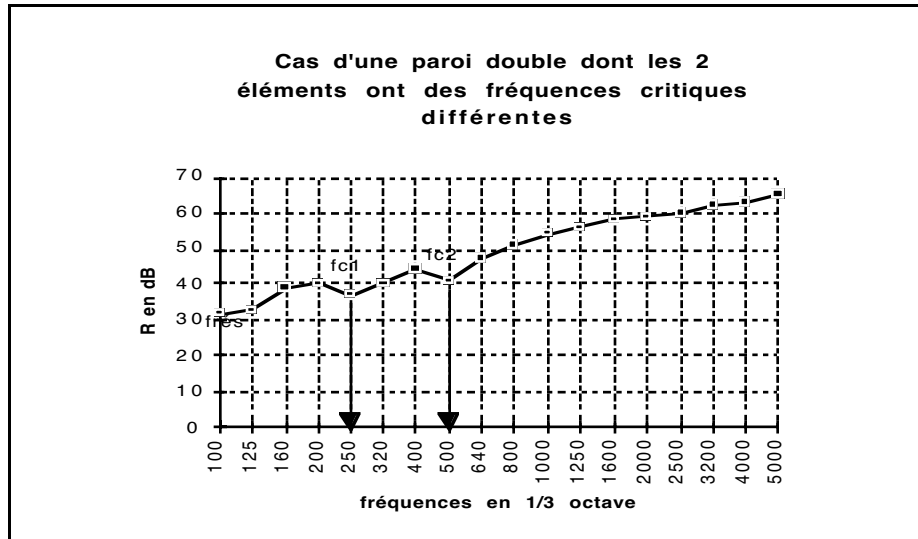


Sur la courbe ci-dessous, représentative de l'isolement d'une paroi double, on constate une chute d'isolement à la fréquence de résonance (située dans les fréquences basses). Pour cette raison il est tentant de rejeter cette fréquence hors de la zone de mesure du bâtiment (en dessous de 90 Hz, en pratique en dessous de 80 Hz)

- soit en augmentant m1 et (ou) m2
- soit en augmentant d

On constate également la chute aux 2 fréquences critiques.

Les résonances dans la lame d'air sont peu marquées lors d'une analyse en 1/3 d'octave (fréquences assez précises), mais elles influencent le résultat global.



Influence sur la conception :

si on augmente beaucoup la valeur de d , la formule ci-dessus montre que la fréquence de résonance devient basse. De plus le couplage de parois très distantes est faible. On comprend donc qu'à partir d'une grande valeur de d , l'idée fautive de départ devient presque vraie ! **La distance est d'environ 0,70 mètre.** Autrement dit deux parois séparées de 70 cm ou plus ont leurs indices d'affaiblissement acoustique qui s'ajoutent. C'est le cas d'un couloir, d'un placard, d'un espace tampon... à vous d'imaginer les solutions pratiques .

Pour atténuer les chutes d'isolement aux valeurs de f_n , on peut disposer un matériau absorbant dans la cavité (amortisseur du système masse - ressort - masse) constitué en général de laine minérale si possible liée à un seul parement (pour éviter les couplages). Pour les vitrages (ou les doubles fenêtres) on peut disposer l'absorbant sur la périphérie du cadre.

Dans le cas de couloir ou de placard, il est utile de rendre l'espace tampon le plus absorbant possible.

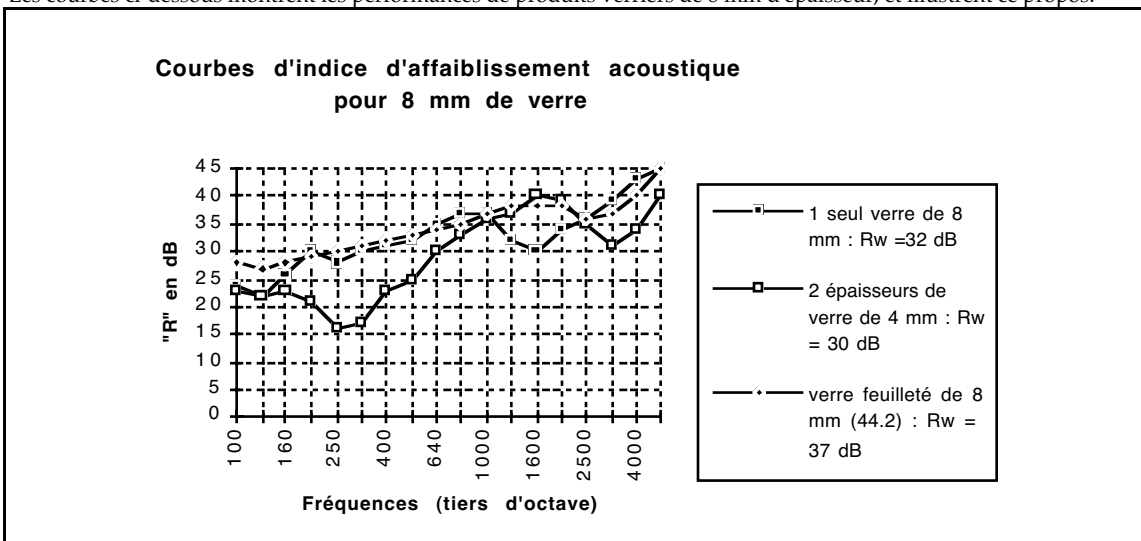
Les deux parements ont également chacun une fréquence critique (fc_1 et fc_2) qui constitue un point faible en fréquence. Il est facile de comprendre qu'il vaut mieux qu'elles soient différentes pour éviter un "trou" d'isolement marqué.

Exemple : deux vitrages d'épaisseur identique ont une valeur de "R" plus mauvaise que deux vitrages d'épaisseur différente (à épaisseur totale de verre identique)

De même, un vitrage épais est plus isolant que deux vitrages d'épaisseur moitié.

Les vitrages feuilletés présentent une particularité de réponse du fait de leur constitution : 2 feuilles de verre solidarisées par un polymère.

Les courbes ci-dessous montrent les performances de produits verriers de 8 mm d'épaisseur, et illustrent ce propos.



Enfin, la théorie suppose que les deux parements soient mécaniquement indépendants (parois désolidarisées). Or les cloisons ont toujours plus ou moins de points de contact (fixation basse, entretoises, ...), il en résulte une nouvelle diminution de l'isolement d'autant plus forte que les parois sont plus liées.

Il vaut mieux mettre des entretoises tous les 60 cm que tous les 40 cm, il vaut mieux mettre des raidisseurs séparés par paroi ...

Toutes les remarques précédentes montrent qu'une cloison double de bonne qualité acoustique ne s'improvise pas. Attention en particulier aux cloisons de renforcement que l'on vient poser en plus d'une paroi existante !

1.5.2 - Parois triples

Elles n'améliorent pas les performances dans les fréquences graves, parfois même elles les détériorent ! Elles ne sont donc pas d'un usage fréquent. Il vaut souvent mieux une paroi double bien conçue.

1.5.3 - Quelques éléments de comparaison

- Fréquence critique (Hz) et masse volumique (kg/m³) des matériaux courants de construction

Matériau	Masse volumique	Fréquence critique pour 1 cm d'épaisseur
caoutchouc	1 000	85 000
liège	250	18 000
polystyrène	14	14 000
acier	7 800	1 000
aluminium	2 700	1 300
plomb	10 600	8 000
verre	2 500	1 200
brique pleine	2 000 à 2 500	2 500 à 5 000
béton	2 300	1 800
plâtre	1 000	4 000
bois (sapin)	600	6 000 à 18 000

on constate que la plaque de plâtre de 13 mm a une fréquence critique de 3 100 Hz (proche de la zone non prise en compte dans les aigus), comme le bois de 1,5 cm (4 000 Hz), et pour le béton de 18 cm : 100 Hz (proche de la zone non prise en compte dans les graves). Par contre la brique de 5,5 cm aura sa fc entre 450 et 900 Hz (selon sa constitution) soit au milieu de la plage de mesure, et proche du maximum d'émission de la parole.

- indices d'affaiblissement acoustiques en dBA (bruit rose)		
carreau de plâtre plein de 70 mm	= (76kg/m ²)	35 dBA
glace de 10 mm	= (25kg/m ²)	35 dBA
brique creuse de 50 mm + 2 enduits plâtre 5 mm	= (90kg/m ²)	36 dBA
paroi de béton de 20 cm + enduit plâtre 5 mm	= (360kg/m ²)	59 dBA
double cloison en plaques de plâtre de 13 mm)	
2 plaques d'un côté, 3 plaques de l'autre)	
séparées par 150 mm de fibres minérales)	
sans liaison, joint périphérique)	
	= (64kg/m ²) et épaisseur totale = 17,6 cm) 63 dBA
idem ci-dessus avec 2 fois 2 plaques)	
100 mm de fibres minérales)	
ensemble sur ossature métallique tous les 60 cm)	
	= (53kg/m ²) et épaisseur totale = 12,6 cm) 57 dBA
pour trouver des valeurs de "R"		

- se référer au cahier du CSTB 1397 - livraison 173 - Octobre 1976

- consulter les catalogues de fabricants (surtout pour les cloisons doubles), ainsi que les tableaux récapitulatifs en fin de document.

1.6 - Isolement par rapport à l'extérieur

il s'agira pour beaucoup de rappels de la partie de cours sur les bruits extérieurs

1.6.1 Bruit de référence : bruit routier normalisé ou bruit rose pour les aéronefs. On obtient toujours R rose > R route avec des écarts de 2 à 6 dB

1.6.2 - La source de bruit n'est en général pas diffuse, mais localisée, ce qui introduit la notion d'angle d'incidence entre source et façade.

1.6.3 - La façade est constituée de plusieurs éléments E1, E2 ... de surfaces S1, S2 ... et d'indice d'affaiblissement acoustique R1, R2 ...

Un calcul de l'indice d'affaiblissement acoustique de l'ensemble (voir abaque de calcul) montre qu'il est toujours plus réaliste de renforcer le point faible (ou de réduire sa surface) que de sur-isoler le point fort !

1.6.4 - Les vitrages (pour un bruit route)

Attention les valeurs de l'indice R des vitrages ne permettent pas de savoir quelle sera la performance de la fenêtre dans laquelle ils seront mis.

Pour une épaisseur constante de verre de 10 mm

- glace de 10 mm	33 dBA
(remarquez que l'on avait 35 dBA pour un bruit rose)	
- vitrage double 5/6/5	29 dBA
- vitrage double 4/6/6	30 dBA
- vitrage double 5/12/5	30 dBA
- vitrage double 4/10/6	31 dBA
- vitrage feuilleté (2 couches 5/5)	35 dBA

Les complexes vitrages/fenêtres atteignent facilement 28 à 30 dBA pour les qualités thermiques (vitrages 4/6/4), et au maximum 35 dBA pour les qualités acoustiques (vitrages doubles feuilletés)

- vitrage double acoustique 8/6/4	32 dBA
- le même dans une fenêtre de bonne qualité	34 dBA

Les vitrages à haute qualité acoustique atteignent au maximum 40 dBA soit 43 dBA au maximum pour la fenêtre.

Le tableau ci-dessous donne des éléments pour respecter la réglementation :

les valeurs 30/35/38/42 et 45 dB qui apparaissent ci-dessous sont celles qui sont fixées par la réglementation française actuelle

RA, tr Vitrage	RA, tr Fenêtre			DnAT, A, tr Façade				
	mini	moyen	maxi	30	35	38	42	45
27	27	28	30	difficile	NON	NON	NON	NON
29	29	31	33	OUI	difficile	NON	NON	NON
31	31	33	35	OUI	difficile	difficile	NON	NON
35	35	37	38	OUI	OUI	difficile	difficile	NON
37	37	38	40	OUI	OUI	OUI	difficile	NON
40	40	41	43	OUI	OUI	OUI	OUI	difficile

1.6.5 - Les fenêtres

Il existe un label ACOTHERM permettant de classer les fenêtres aussi bien de point de vue thermique qu'acoustique. Pour l'acoustique (certification CEKAL) 6 classes d'isolement sont retenues (permettant d'obtenir les valeurs réglementaires), leurs valeurs sont indiquées ci-dessous.

1.6.6 - Les produits de second oeuvre

Les quelques données qui suivent permettent de se faire une idée des performances des produits industriels disponibles de façon "classique" sur le marché du bâtiment.

- portes palières : de 28 à 38... (et jusqu'à 42) dB(A) au bruit rose
- portes industrielles : de 29 à 48 ...(et jusqu'à 51) dB(A) au bruit rose
- coffres de volets roulants : de 35 à 48 ...(et jusqu'à 51) dB(A) au bruit route
- entrées d'air en façade : D_{n10} de 36 à 50 dB(A) au bruit route
- fenêtres et portes-fenêtres : selon le classement CEKAL
 - AR1 : $R_{route} > 25$ dB(A)
 - AR2 : $R_{route} > 28$ dB(A) obtenus couramment
 - AR3 : $R_{route} > 31$ dB(A)
 - AR4 : $R_{route} > 33$ dB(A) plus cher et plus difficile
 - AR5 : $R_{route} > 35$ dB(A)
 - AR6 : $R_{route} > 37$ dB(A) rare et très cher

1.7 - Les points faibles de l'isolement - Les transmissions parasites

Ils sont constitués par les différents "accidents" de conception ou de chantier.

La liste ne peut en être exhaustive, quelques schémas illustreront les erreurs "classiques". Vous reporter aux pages correspondantes.

Ne rien négliger dans ce domaine, se rappeler qu'il ne passe souvent même pas 1/100 000^e de l'énergie sonore dans le local voisin, et que donc toute "fuite" aussi minime soit-elle peut contribuer pour beaucoup à la chute d'isolement.

2 - Isolement contre les bruits solidiens

À la différence des bruits aériens, les bruits solidiens sont caractérisés par une **force localisée** sur une paroi, et donc par une **énergie importante transmise sur une faible surface dans un temps relativement court**.

Les différentes façons de se protéger de ces types de bruit tournent toutes autour du même principe de base : **créer une coupure élastique dans la chaîne de transmission du bruit**. Pour cela on utilise des matériaux "**résilients**" c'est à dire des matériaux élastiques qui restent élastiques sous charge statique et dynamique (par exemple pour une dalle flottante, le matériau reste dans sa limite d'élasticité sous la charge de la dalle, et également sous l'impact des pas - pour un socle antivibratile de pompe, il doit en être de même sous le poids du socle et de la pompe, ainsi que sous les éventuels coups de bélier !).

Les techniques sont nombreuses, les matériaux aussi, mais les principes peuvent se résumer à trois idées :

- **créer la coupure à l'endroit du choc**

 - c'est le cas lorsqu'on porte des pantoufles plutôt que des chaussures à semelle dure

 - c'est aussi le cas si on pose une moquette épaisse ou avec sous couche

 - c'est encore le cas quand on pose entre la canalisation et son collier un matériau résilient, ou un joint souple entre la baignoire et le mur

- **créer la coupure dans la masse de la structure**

 - c'est ce qui est réalisé avec une dalle flottante, un parquet flottant ...

 - ou avec un socle sous une chaudière, une pompe

- **créer une "coupure" à la sortie du choc**, au moment où le bruit devient aérien (beaucoup plus difficile à réaliser, car la sortie est très peu localisée)

 - c'est ce que tente de faire avec beaucoup de mal un plafond **suspendu**

 - c'est ce que réalise mieux un silencieux en bout de gaine

D'une manière générale cette partie est plus du domaine de l'ingénieur ou du technicien spécialiste que de l'architecte, elle fait surtout appel à des connaissances de mécanique.

Le bruit des pas est cependant suffisamment classique pour qu'il soit développé.

2.1 Les bruits d'impact

Ce sont les bruits de pas et de déplacement de meubles.

Il faut préalablement rappeler que si ces bruits sont générés dans la structure, et se transmettent par voie solidienne, ils émettent également dans le domaine aérien, et que tout ce qui a été vu précédemment reste valable, en particulier, donc :

un isolement aux bruits d'impact ne peut se réaliser que sur une structure déjà correcte du point de vue des bruits aériens !

Les bruits d'impact se transmettent verticalement, horizontalement et en diagonale. Leur mesure s'effectue au moyen d'une "machine à chocs normalisée" qui ne reconstitue en rien les bruits de pas (elle délivre un niveau bien plus élevé, surtout aux fréquences aiguës), l'écart est facilement de 30 à 35 dBA ! Cependant c'est une machine simple à construire et à entretenir, et bien sûr les valeurs réglementaires tiennent compte de son niveau et de son spectre particulier.

La machine est constituée d'une ligne de 5 marteaux de 500 g tombant de 4 cm de hauteur en chute libre au rythme de 10 coups par seconde.

Cette machine créant une série de chocs "type", c'est le niveau de réception $L'_{nT,w}$ qui est important. Il est fixé par la réglementation, et doit être corrigé comme pour les bruits aériens (et pour la même raison) de la durée de réverbération du local de réception.

La principale difficulté vient du fait que les solutions adoptées ont des résultats variables selon le support sur lequel elles sont mises en oeuvre.

Exemple : une moquette sur sous couche aura un résultat correct sur une dalle de béton, et peu d'influence sur un séparatif bois en caisson.

Dans tous les cas, la seule obligation d'un fabricant est de fournir le résultat de son produit pour une structure horizontale de 16 cm de béton plein !

Le niveau Ln de la solution de base (16 cm de béton plein sans matériau) est de : 83 dBA.

Les fabricants donnent soit le niveau Ln, soit la valeur $\Delta L = 83 - Ln$, toutes deux en dB (indice w).

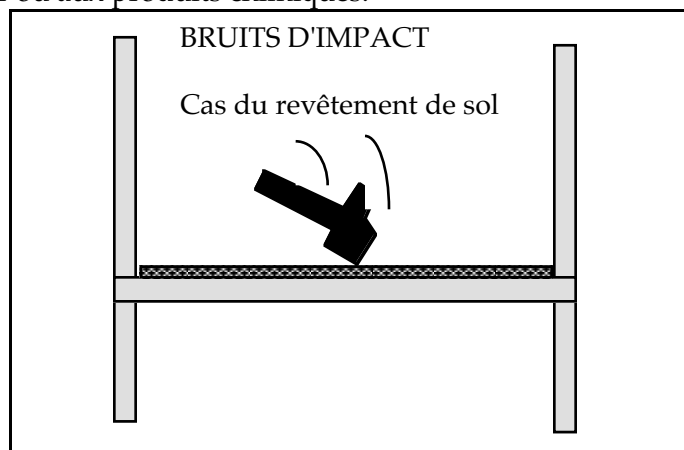
Reprenons nos trois idées de départ

2.1.1 - Matériau résilient sur la dalle (le plancher ...)

Il faut que le matériau possède une **sous couche suffisamment épaisse** pour rester souple sous le choc.

On trouve dans cette catégorie des moquettes sur thibaude, des linoléums, des sols plastiques... et de nombreux matériaux en dalle⁶.

Ces matériaux sont d'autant plus efficaces que leur épaisseur est plus grande. En pratique les épaisseurs courantes sont de l'ordre de 3 à 5 mm (pour la partie résiliente). Ils sont recouverts d'une couche plus résistante à l'usure, au poinçonnement, à l'eau, voire à la chaleur ou aux produits chimiques.



Leur principal inconvénient est de s'user bien plus vite que les autres prestations du bâtiment, d'où un changement régulier de cette couche amortissante. Si le changement n'est pas fait avec un matériau d'une qualité acoustique équivalente, on constate une dégradation du niveau de bruit de pas transmis (L_n augmente). Ce cas est très courant dans l'habitat, les usagers n'appréciant pas tous ces revêtements de sol souples !

Pour éviter ces effets de goût personnel, il est depuis longtemps envisagé de **fixer la valeur réglementaire de L_n sans revêtement de sol**. Jusqu'à présent les pouvoirs publics français ont reculé à chaque fois sur ce projet, mais il est en application dans d'autres pays européens... que réserve l'avenir ?

2.1.2 - Matériau résilient sous dalle flottante (parquet flottant ...)

On crée avec ce système une double cloison ! avec toutes les remarques précédentes, et en particulier la fréquence de résonance qui s'exprime facilement sous la forme :

$$f_0 = \frac{5}{\sqrt{d}}$$

d étant l'écrasement statique sous charge en cm (les fabricants donnent les courbes d'écrasement de leurs matériaux, ou des formules de calcul).

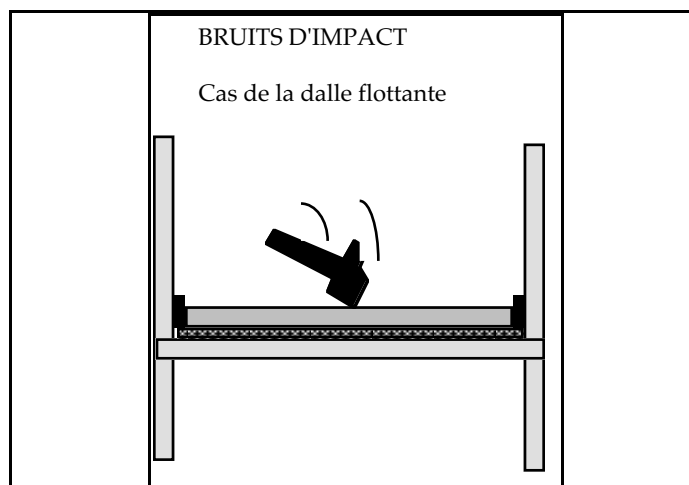
Pour les raisons précédentes f_0 devra être la plus faible possible ($f_0 < 50$ Hz)

Exemple : Un feutre de laine de roche de 13 mm s'écrase de 3 mm sous une dalle de béton de 8 cm d'épaisseur (180kg/m^2) $f_0 = 9$ Hz très largement atteint !

⁶ ces matériaux ont un classement UPEC-A : Usure ; Poinçonnement ; Eau ; Chimique ; Acoustique

Ces dalles ou chapes flottantes sont très efficaces, elles peuvent s'accommoder de tous les revêtements en surface, elles sont d'autant plus efficaces qu'elles sont plus épaisses (pour un même matériau le gain est d'environ 4 dBA par doublement de l'épaisseur) mais **elles ont l'inconvénient d'être difficiles (et chères) à réaliser, elles supposent une étroite surveillance de chantier.** En effet, un seul point dur lors de la réalisation d'une telle dalle diminue très fortement le résultat (en le ramenant très proche de la dalle non flottante).

La chape doit être en particulier protégée des contacts périphériques (relevé de bord), et ce sont surtout les points singuliers qui sont difficiles à réaliser : passage de canalisation, support d'équipement...



Les parquets flottants sont conçus sur le même principe, mais la réalisation est plus facile à suivre, la sous-couche étant posée sous les lambourdes.

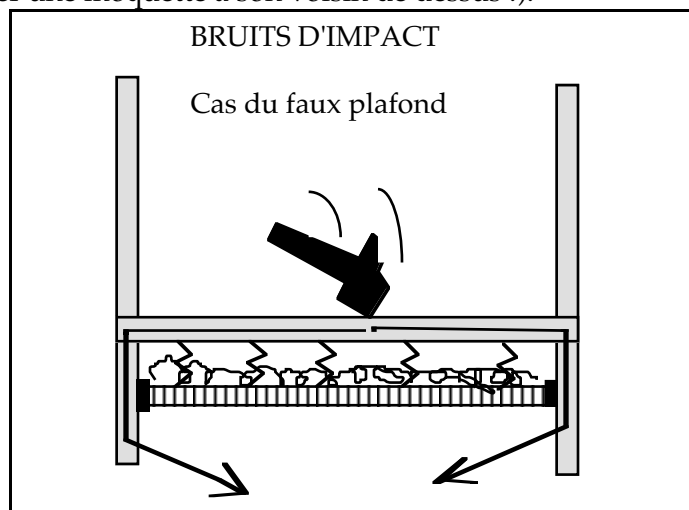
Nota : il existe de plus en plus de solutions techniques qui permettent de réaliser dans des conditions de sécurité de résultat les chapes en béton, citons les boîtes à ressort (les ressorts sont détendus après séchage de la chape) ou les lambourdes flottantes pour chape béton.

Les entreprises ont également acquis une compétence et un sérieux qui permettent de préconiser ces solutions avec peu de risques.

2.1.3 - Les plafonds suspendus

C'est la solution adoptée par les usagers "du dessous".

Cette solution n'est pas très performante, car on a vu que les transmissions indirectes allaient devenir prépondérantes. Cependant il ne faut pas nier qu'elle est souvent employée, en particulier dans l'habitat (il est souvent difficile d'accepter l'idée qu'il vaut mieux payer une moquette à son voisin de dessus !).



Dans le cas d'une telle réalisation, le **plafond doit être désolidarisé** du plancher supérieur en le **suspendant (au moyen de suspentes souples)** à ce plancher, ou à des traverses liées aux murs latéraux. Il faut ensuite le désolidariser des bords, et enfin mettre dans la cavité un matériau fibreux (cas des doubles parois !)

Pour une efficacité maximale, il est facile de constater qu'il faut également traiter les parois latérales, on en arrive à une solution de doublage généralisé dite de "la boîte dans la boîte" et destinée à de très forts isolements.

Des résultats de réalisations dans de nombreux cas de séparatif horizontal peuvent être trouvés dans le cahier du CSTB 1914 - livraison 247 - mars 1984

2.2 - Les bruits d'équipements

Il ne s'agit pas de faire un inventaire, mais un panorama de quelques solutions "classiques", et surtout de comprendre leur utilité.

Les chaufferies seront exclues de ce chapitre, elles sont de plus en plus isolées des blocs d'habitation, et sont traitées par les bureaux d'étude technique.

2.2.1 - Les bruits des équipements sanitaires

- robinetterie : elle est classée par la différence D_s de niveau sonore qu'elle présente en laboratoire par rapport à un "Générateur de Bruit Étalon" (robinet très bruyant).

Plus D_s est grand, plus la robinetterie est silencieuse.

La robinetterie est classée au moyen d'un label EAU ou ECAU

EAU et ECAU : Label décerné par l'administration qui permet de classer les robinets et les mélangeurs (EAU) ou les mitigeurs (ECAU) -

E = écoulement - A = acoustique - C = confort - U = usure

Pour l'acoustique : ces appareillages sont caractérisés par leur D_s

Classe A 1 : $15 \text{ dBA} < D_s < 25 \text{ dBA}$

Classe A 2 : $25 \text{ dBA} < D_s < 30 \text{ dBA}$

Classe A 3 : $30 \text{ dBA} < D_s$

Plus le classement est élevé, plus la robinetterie est silencieuse

- canalisations : pour éviter les bruits de tuyauterie il est préférable de dimensionner largement les tuyaux d'arrivée ou de vidange, de prévoir pour les vidanges des prises d'air, et de créer des coudes à grand rayon de courbure. Il est aussi recommandé de fixer les canalisations au moyen de colliers souples. Enfin, il existe des manchons anti-vibratiles, ou des anti coup de bélier pour éviter les vibrations.

- les appareils sanitaires : sont générateurs de bruits par leur remplissage ou leur vidange. Il est préférable d'utiliser des matériaux peu rayonnants (fonte ou plastiques spéciaux) et de les désolidariser des murs et des sols. De plus il existe des appareils sanitaires moins bruyants car mieux étudiés : trop plein fermé à la vidange, robinet plongeur pour la chasse d'eau (avec flotteur sur la fin de course)...

- enfin il faut veiller à la qualité des protections acoustiques lors des passages de gaines d'un niveau à l'autre : caisson, bourrage, ...

2.2.2 - Les équipements techniques du bâtiment

Il s'agit d'un grand nombre de matériels et matériaux pour lesquels ici aussi nous ne donnerons que des principes.

Tous ces appareils ont un niveau sonore qui augmente avec l'usure de leurs pièces ou leur encrassement (filtres à air).

Un suivi technique et un remplacement préventif des éléments est souvent gage de bonne qualité sonore. Un bruit "anormal" est le plus souvent signe d'une usure de l'installation. C'est d'ailleurs sur ce principe qu'est basée la technique de "Maintenance prévisionnelle" des machines dans l'industrie : on enregistre les vibrations de la machine neuve, puis on refait régulièrement le test ; quand l'enregistrement dévie trop (valeur de l'écart à fixer) on sait qu'il est temps de remplacer un des composants.

Ils sont souvent regroupés dans des locaux techniques qu'il convient de situer correctement par rapport aux locaux adjacents ou proches : éloignement, sas, double paroi distante, isolation renforcée...

- les groupes vibrants : chaufferies, pompes, surpresseurs ...

Ils sont le plus souvent montés sur des socles lourds (diminuer l'amplitude des vibrations) désolidarisés du porteur. Cela suppose une liaison souple aux canalisations (pour supporter les légers déplacements relatifs).

Cas particulier des postes de transformation électrique : c'est un groupe vibrant (donc posé sur support souple) nécessitant de la ventilation (protégée par des silencieux). Cet équipement a, en outre, la particularité de produire des fréquences « pures » de 100 Hz (2 fois, la fréquence du réseau) et peut conduire à des aménagements spécifiques liés à cette fréquence précise.

- les machines tournantes : ventilateurs, ventilo-convecteurs...

Elles posent le problème d'une génération de fréquences propres (spectre de raies) liées à leur vitesse de rotation et leur nombre de pales. Ces fréquences peu détectables à l'analyse (sauf analyse fine en fréquence) peuvent s'avérer très gênantes pour l'auditeur. Elles sont cependant très faciles à éliminer une fois qu'elles sont localisées.

D'une manière générale le niveau sonore de ces appareils augmente très rapidement avec la vitesse de rotation. Il vaut donc mieux choisir un appareil légèrement surdimensionné, et le faire tourner à une vitesse plus lente (cette règle permet en plus une usure moins rapide de l'appareil).

- les ascenseurs: ils appartiennent aux deux catégories précédentes, et sont plus du domaine des bureaux d'étude pour leur réalisation. Néanmoins, leur localisation dans le bâtiment est du domaine de l'architecte, et il n'est pas question d'accoler un tel équipement à un local sensible (chambre par exemple).

- les systèmes de renouvellement d'air: VMC, air pulsé, ...

Ils constituent des ponts phoniques entre locaux (zone de faible isolement dans la cloison traversée), particulièrement pour les fréquences de 1/2 longueur d'onde inférieure à la dimension de la gaine (effet téléphone).

Ils génèrent en plus leur propre niveau sonore (groupe extracteur...) ainsi qu'un bruit de bouche (prise d'air du local).

La qualité des bouches, des gaines, voire l'ajout de silencieux permettent de résoudre ces problèmes.

Pour les gaines, comme pour les tuyauteries, des coudes à grand rayon de courbure sont recommandés, les changements de section doivent aussi se faire de façon progressive. Les sections étant parfois importantes, il est essentiel de penser à leur localisation dès l'avant projet.

Tous ces systèmes possèdent des extracteurs, souvent situés en toiture. Il convient alors de les orienter du côté qui gênera le moins le voisinage, voire de leur adjoindre des éléments protecteurs qui changent leur directivité (renvoi de l'énergie sonore vers une autre direction moins gênante).

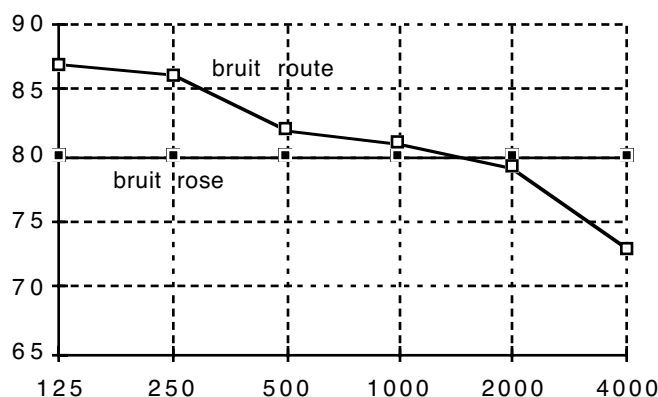
- groupes frigorifiques et climatisation : ces équipements deviennent de plus en plus courants dans les bâtiments, alors que dans la plupart des cas, une conception solaire et thermique plus correcte pourrait nous en dispenser sous les latitudes de la France métropolitaine (aux rares exceptions de la frange méditerranéenne et de la Corse). Le plus souvent ils sont regroupés dans le local technique, et nécessitent une suspension et parfois un capotage. Les climatiseurs individuels sont à traiter comme les ventilo-convecteurs.

- les équipements ménagers : ils deviennent de plus en plus silencieux, mais aussi de plus en plus nombreux, et ce ne sont pas les plus volumineux qui sont les plus bruyants. Ils sont caractérisés par leur niveau de puissance L_w en dBA. Du fait de leur usage en tous lieux et à tout moment, il est difficile de donner des règles spécifiques d'utilisation. Les principes précédents restent valables dans leur ensemble.

Comparaison de deux indices d'affaiblissement acoustiques (d'une cloison simple) selon leurs types de bruit à l'émission⁷

Examinons d'abord les courbes des deux bruits de référence, chacun émettant un niveau sonore global pondéré de 86 dBA.
Les courbes ci-dessous montrent leur allure :

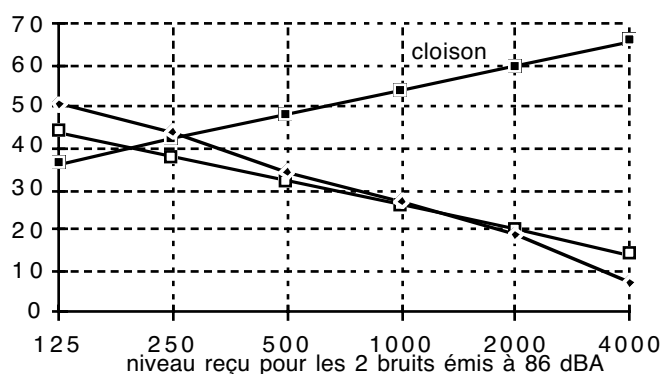
Bruits "rose" et "route" à 86 dBA



On constate que le bruit "route" est bien entendu plus chargé en fréquences graves, puisqu'il veut correspondre à un bruit de circulation.

Si on émet ces deux bruits à travers une cloison de représentation simple (pente régulière de 6 dB par octave) on obtient deux niveaux de réception différents représentés ci-dessous :

Niveau de réception pour une cloison



Ces deux niveaux de réception correspondent à :

34 dBA pour l'émission du bruit rose soit un isolement de 52 dBA

39 dBA pour l'émission du bruit route soit un isolement de 47 dBA

CONCLUSION : Le type de bruit à l'émission conditionne toujours la valeur de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi.

D'autre part, selon le bruit émis in-situ, la paroi isolera différemment (souvent d'autant moins que le bruit est plus grave).

⁷N'est pas traité ici le cas du R_w qui utilise encore une autre méthode, donc un autre résultat

Classement des voies de circulation routière
Catégories d'isolement correspondant
(Arrêté du 30 mai 1996)

Le niveau sonore de référence est

- soit le LAeq (6h-22h) pour la période diurne noté LAeq (D)
- soit le LAeq (22h-6h) pour la période nocturne noté LAeq (N)

Ce niveau est un niveau en façade (il est donc majoré de **3 dB(A)** par rapport à un niveau en champ libre).

NOTA : le niveau sonore à prendre en compte est celui qui est le plus élevé des deux niveaux (D ou N). Ils sont mesurés à 5 mètres de haut et à :

- 10 mètres du bord de la chaussée - pour un profil en L-
- 2 mètres en avant de la façade - pour un profil en U

Dans les tableaux qui suivent : les isolements sont des DnAT

et les **distances** sont prises depuis le **bord** de l'infrastructure routière. Il s'agit de **largeur maximale** de secteurs affectés par le bruit de part et d'autre de l'infrastructure routière.

Classement des voies de circulation

LAeq (D)	LAeq (N)	catégorie	Distance (en m)	Isolement en dB (A) pour rues en "U"
L>81	L>76	1	300 m	45
76<L<81	71<L<76	2	250 m	42
70<L<76	65<L<70	3	100 m	38
65<L<70	60<L<65	4	30 m	35
60<L<65	55<L<60	5	10 m	30

***Catégories et isolements pour des voies urbaines (en "U") :**

Pour ces voies, le tableau ci-dessus donne en dernière colonne la valeur de l'isolement réglementaire, ainsi que la distance jusqu'où cette réglementation s'applique (sauf à prouver que le niveau LAeq diminue du fait du bâti). Dans tous les cas, jamais d'isolement inférieur à 30 dBA.

***Catégories et isolements pour les tissus ouverts (en "L") :**

Le tableau ci-dessus donne les isolements réglementaires en fonction de la catégorie de voie (voir plus haut) et la distance de la construction.

Dans toute la zone grisée, l'isolement minimum est de 30 dBA.

distances du bord de route en mètres	0	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	
catégorie																
1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	
2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30		
3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30						
4	35	33	32	31	30											
5	30															

Exemple : voie en tissu ouvert de catégorie 2, construction prévue à plus 40 mètres du bord de la chaussée (et à moins de 50 m), l'isolement de façade réglementaire est de : 37 dBA. Il s'agit bien entendu de la façade exposée au bruit, pour les autres façades, l'isolement peut être plus faible, sans jamais être inférieur à 30 dBA.

**Résumé du texte relatif aux locaux diffusant de la musique amplifiée
(décret 98-1143 du 15/12/98)**

Il s'agit de locaux où la diffusion de musique amplifiée a lieu au moins 10 à 12 fois par an

1 - dans ces locaux, le niveau ne doit pas dépasser 105 dB(A) en niveau moyen, et 120 dB(A) en niveau de crête

2 - lorsque ces locaux sont contigus à des locaux d'habitation (ou si le séjour de personnes est prolongé dans les locaux voisins : bureaux de gestion ...) les isolements (DnT) par octave lorsque le niveau à l'émission est de 99 dB sont les suivants :

fréquence	125	250	500	1000	2000	4000
émission	99	99	99	99	99	99
isolement	66	75	82	86	89	91

Au cas où l'une ou l'autre de ces contraintes ne peut être garantie, la mise en place d'un limiteur de pression sonore peut être exigée (réglé et scellé par l'installateur).

**Résumé du texte relatif aux installations classées
(arrêté du 23/01/97)**

Il s'agit d'installations qui font l'objet d'un classement au titre des nuisances sonores.

1 - les valeurs en limite de propriété de l'établissement ne doivent pas dépasser 70 dB(A) en période diurne et 60 dB(A) en période nocturne

2 - dans les zones à émergence réglementées (intérieur des logements, ...) les niveaux ne doivent pas dépasser les valeurs ci-dessous (toutes les valeurs sont en dB(A)):

niveau de bruit ambiant incluant l'établissement	émergence diurne sauf dimanche et férié	émergence nocturne y compris dimanche et férié
35<Lp<45	6	4
45<Lp	5	3

Réglementation concernant les bruits de voisinage :

Ils sont actuellement régis par le décret du 18 avril 1995 qui donne comme valeurs d'émergence (différence entre le bruit total, et le bruit de fond sans le bruit perturbateur) à ne pas dépasser :

- 5 dB(A) en période diurne (de 7 h à 22 h)
- 3 dB(A) en période nocturne (de 22 h à 7 h)

valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif suivant la durée cumulée du bruit perturbateur :

Durée cumulée d'apparition du bruit perturbateur : T	Terme correctif en dB(A)
30 secondes à 1 minute	9
1 minute à 2 minutes	8
2 minute à 5 minutes	7
5 minute à 10 minutes	6
10 minute à 20 minutes	5
20 minute à 45 minutes	4
45 minutes à 2 heures	3
2 heures à 4 heures	2
4 heures à 8 heures	1
supérieur à 8 heures	0

Nota 1 : il n'y a pas d'infraction si le niveau global est inférieur à 30 dB(A)

Nota 2 : remarquez que la notion de **tapage nocturne** n'apparaît pas ! Il peut aussi bien y avoir infraction de jour que de nuit.

Autrement dit, et en l'absence d'autre réglementation spécifique, un bruit perturbateur continu, ne peut dépasser de 5 dBA le bruit ambiant le jour.

Si ce bruit ne dure qu'entre 10 et 20 minutes (entre 7h et 22h) : par exemple un avertisseur qui fonctionne 40 fois par jour sur une durée de 30 secondes, il ne peut dépasser le bruit ambiant que de $5 + 5 = 10$ dBA !

ACOUSTIQUE - LES DÉFINITIONS

LES FORMULES DE CALCUL

Nota : ce tableau n'a pour but que de constituer un "mémento".
Attention cependant aux "formules" détachées de leur contexte.

1) Généralités

f	fréquence d'un son	Hz (Hertz)
c	vitesse du son (m/s)	dans l'air : $c=20\sqrt{T}$ (T en °K)
λ	longueur d'onde du son	(mètre)
dB	décibel (grandeur sans dimension)	
dBA	décibel pondéré par la courbe A (courbe de réponse moyenne de l'oreille)	
P	Pression acoustique (Pa)	seuil minimum : $P_0 = 2.10^{-5}$ Pa
Lp	Niveau de pression acoustique	$L_p = 10\log (P/P_0)^2$
I	Intensité acoustique (W/m^2)	seuil minimum : $I_0 = 10^{-12}$ W / m ²
	$I = W/S$ avec S = surface de répartition du son	
L _I	Niveau d'intensité acoustique	$L_I = 10\log (I/I_0)$
W	Puissance acoustique (Watt)	<u>convention</u> : $W_0 = 10^{-12}$ W
Lw	Niveau de puissance acoustique	$L_w = 10\log (W/W_0)$
Leq	Niveau équivalent (moyenne énergétique : préciser la tranche horaire)	
L ₅₀	Niveau statistiquement dépassé durant 50% du temps	
NR	Courbes normalisées de réponse de l'oreille humaine	
Q	Directivité d'une source (Q = 1 pour une source omnidirectionnelle)	

2) Propagation en plein air

Propagation sphérique (source ponctuelle)	$L_p = L_w - 10\log 4\pi r^2$
formule pratique (avec directivité Q)	$L_p = L_w - 20 \log r + 10\log Q - 11$

Variation de niveau sonore

Propagation sphérique (source ponctuelle)	$L_{p1} - L_{p2} = 20 \log (r_1/r_2)$
	soit une variation de 6 dB par doublement de la distance

Propagation cylindrique (source linéaire)	$L_{p1} - L_{p2} = 10 \log (r_1/r_2)$
	soit une variation de 3 dB par doublement de la distance

Niveau prévu en façade : +3dB par rapport au niveau en champ libre

Isophone de référence : courbe d'égal niveau sonore passant à 30m de la chaussée (notée "zéro" sur les abaques d'atténuation)

3) Propagation en espace clos

V	Volume du local	m^3
f_n	fréquences propres du local	$f_n = c/2 \sqrt{(m^2/L^2 + n^2/l^2 + p^2/h^2)}$
α	coefficient d'absorption de Sabine	$0 < \alpha < 1$
α_w	coefficient d'absorption conventionnel (Norme ISO)	
A	aire d'absorption équivalente du local	$A = \sum \alpha_i S_i = S \cdot \alpha_{moy}$
R	constante du local	$R = S \cdot \alpha_{moy} / (1 - \alpha_{moy})$

Niveau de pression en salle $L_p = L_w + 10 \log (Q/4\pi r^2 + 4/R)$
 r_a rayon acoustique (distance de la source où le niveau de champ direct est égal à celui de champ diffus : c'est l'égalité des 2 termes de la parenthèse précédente) $r_a = \sqrt{RQ/16\pi}$

Tr Durée de réverbération $Tr = 0,16 V/A$ (formule de Sabine)
(formule d'Eyring pour α grand) $Tr = 0,07 V / -S \log (1 - \alpha_{moy})$

f_0 fréquence de résonance
membrane : $= 600/\sqrt{md}$ avec m en kg/m² et d en cm
résonateur : $= c/2\pi \sqrt{S/(1+1,6r)V}$

4) Isolement acoustique

R Indice d'affaiblissement acoustique (il existe : R_{rose} ; R_{route} ; R_w)
les fabricants donnent les résultats sous la forme : $R_w (C ; C_{tr})$
soit : $R_{rose} = R_w + C$ et $R_{route} = R_w + C_{tr}$

ΔR Indice d'amélioration au bruits aériens

τ facteur de transmission d'une paroi $R = 10 \log 1/\tau$

D_b isolement brut $D_b = L_p \text{ émission} - L_p \text{ réception}$
 D_n isolement normalisé $D_n = D_b + 10 \log Tr/Tr_0$ (avec $Tr_0 = 0,5$ s pour du logement)
nota : D_{nAT} correspond à cet isolement exprimé en dBA pour une durée de réverbération T

f_c fréquence critique d'une paroi (avec $f_c = f_c (\text{pour } 1 \text{ cm})/e$) e en cm
a facteur d'évaluation des transmissions latérales

L niveau sous un séparatif horizontal (lorsque fonctionne la machine à chocs normalisée)
(il existe L_n et $L_{n,w}$) et L_{nAT} (voir D_{nAT})

ΔL Indice d'amélioration aux bruits d'impacts

Ds : Caractérise la performance d'un élément de robinetterie $D_s = L_s - L$
avec L_s = bruit émis par un générateur de bruit étalon (très bruyant)
 L = bruit émis par l'élément de robinetterie dans les mêmes conditions

Nota : les indices w font référence à des normes ISO

5) Les bruits conventionnels :

en France, ils sont définis par octave (Norme NF)

fréquences	125	250	500	1000	2000	4000	en dBA
bruit rose	80	80	80	80	80	80	86
bruit route	71	70	66	65	63	57	70

en Europe ils sont définis par la Norme ISO

en 1/3 d'octave pour les courbes de référence de bruit aériens (R_w) ou de bruits de pas (L_w)

fréquences	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
courbe R _w	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
courbe L _w	67	67	67	67	67	67	66	65	64	63	62	59	56	53	50	47

et par octave pour la courbe de référence d'absorption α_w

fréquences	250	500	1000	2000	4000
courbe d'absorption	0,8	1	1	1	0,9

(nota : pas de valeur à 125 Hz)

6) Les recommandations pour le bruit ambiant

6.1 - Ordres de grandeur de niveaux NR (selon la norme NF 30-001) pour des locaux vides, appareillages en fonctionnement

NR 15 : studios d'enregistrement

NR 20 : régie son, salle de concert

NR 25 : régie vidéo, salle de théâtre, salle de conférence, salle de répétition

NR 30 : régie de projection, salle de cinéma, musée, bibliothèque, infirmerie, salle de repos, bureau individuel

NR 35 : zone d'accueil de banque, local social, restaurant, bureau collectif

NR 40 : cantine, cafétéria,

NR 50 : cuisine collective

NR 60 : local informatique, transformateur, local de GTB

NR 70 : machinerie d'ascenseur, centrale de traitement d'air

NR 80 : chaufferie, pompe à chaleur, local frigorifique

NR 90 : local du groupe électrogène

Ces valeurs sont relativement faibles. Dans la pratique, des valeurs majorées de 5 à 10 unités sont le plus souvent admises comme "normales".

6.2 - Critères rapides pour la compréhension de la parole

Le tableau ci-dessous donne des ordres de grandeur rapides de distance pour la compréhension de la parole humaine :

exemple : pour entendre une conversation à 1,3 mètres, le niveau ambiant ne doit pas dépasser 60 dBA si on parle en forçant la voix, ou 55 dBA si on parle à voix normale. Cet exemple donne le maximum de bruit ambiant admissible pour un restaurant ou un bureau : 55 dBA.

distances (m)	14	8	4	2,2	1,3	0,8	0,4	0,25	0,15	0,08
parole forcée (dBA)	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
parole normale (dBA)		40	45	50	55	60	65	70	75	80

Il n'est pas inutile de donner une correspondance (approximative) entre valeur NR et dBA : NR + 4 = valeur en dBA.

On constate donc que pour une salle de restaurant ou un bureau collectif où NR conseillé est de 35, si on dévie un peu trop vers la valeur 40 ou 45, nous aurons : 45 + 4 = 49 dBA de bruit de fond, il ne reste qu'une marge de 6 dB pour atteindre 55 avec le bruit des conversations !

7) Quelques termes, sigles et leur correspondance

ACOTHERM : Label décerné par l'administration qui permet de classer les **fenêtres** ayant une bonne caractéristique acoustique (ACO) et/ou thermique (THERM)

Classe AC 1 : R route > 28 dBA

Classe AC 2 : R route > 33 dBA

Classe AC 3 : R route > 38 dBA

Classe AC 4 : R route > 43 dBA

Nota : il existe aussi un classement CEKAL pour les **vitrages** qui intéresse moins le praticien en général

EAU et ECAU : Label décerné par l'administration qui permet de classer les robinets et les mélangeurs (EAU) ou les mitigeurs (ECAU) -

E = écoulement - A = acoustique - C = confort - U = usure

Pour l'acoustique : ces appareillages sont caractérisés par leur Ds

Classe A 1 : 15 dBA < Ds < 25 dBA

Classe A 2 : 25 dBA < Ds < 30 dBA

Classe A 3 : 30 dBA < Ds

Plus le classement est élevé, plus la robinetterie est silencieuse

QUALITEL : Label décerné par l'administration qui a pour but d'encourager la qualité et le confort (en particulier sonore) dans les bâtiments d'habitation. Un organisme QUALITEL se charge d'éditer un guide de construction qui conseille les professionnels pour la construction neuve.

CETUR : Centre d'Etudes sur les Transports Urbains

Cet organisme produit des documents de calcul pour les voies routières

CATED : Centre d'Assistance Technique et de Documentation

Nombreux ouvrages sur l'acoustique, et aide aux professionnels

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Organisme para-public qui produit entre autre les DTU

CIDB : Centre d'Information et de Documentation sur le Bruit

Consultable sur le 36 15 Code BRUIT

<http://www.infobruit.org/FR/info/00>