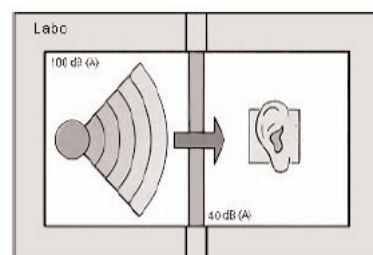


Mémento technique du bâtiment

pour le chargé d'opération de constructions publiques

Confort acoustique



| Certu

MEMENTO TECHNIQUE DU BATIMENT

pour le chargé d'opération de constructions publiques.

LE CONFORT ACOUSTIQUE

Juillet 2003

**Ministère de l'Équipement, des Transports,
du Logement, du Tourisme et de la Mer.**

**Centre d'études sur les réseaux, les transports,
l'urbanisme et les constructions publiques.**



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Mémentos techniques

Les fonctions et les systèmes techniques du bâtiment

CONFORT ACOUSTIQUE

Sommaire

I - LES ENJEUX

II - LES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES EN JEUX

- Origine du son
- Propagation dans l'air
- Transmission par les solides
- Caractérisation d'un son
- Un bruit est un mélange de sons
- Notion de spectre
- Addition et soustraction de niveaux acoustiques
- Le bruit décroît avec la distance

III - LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES EN JEUX

- Sensibilité de l'oreille humaine
- Le décibel (A)

IV - NOTIONS ÉLÉMENTAIRES D'ACOUSTIQUE APPLIQUÉE AU BÂTIMENT

- Les mesures et les termes employés
- Les voies de transmission
- Ne pas confondre isolation et absorption
- Ne pas confondre indice d'affaiblissement et isolement
- Loi de masse et indice R des parois simples
- Loi de masse et indice R des parois doubles
- Ne pas confondre isolement brut et isolement normalisé
- Aire d'absorption équivalente d'un local
- Intelligibilité de la parole
- Niveau continu équivalent
- L'émergence de bruit

V - LES POINTS DE VIGILANCE

- L'exposition au bruit du bâtiment et des locaux
- Volume et disposition des locaux
- Qualité sonore des locaux
- Quelques postes du bâtiment face au bruit
- La réglementation

VI - GLOSSAIRE

VII - BIBLIOGRAPHIE

CONFORT ACOUSTIQUE

I - LES ENJEUX

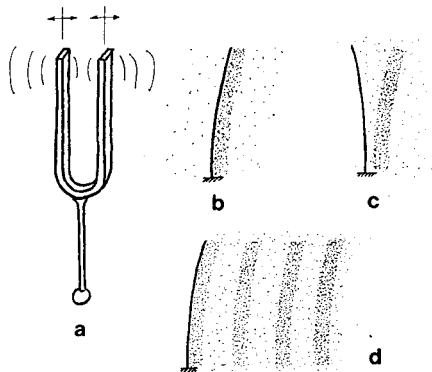
Ils portent principalement sur :

- Le confort des utilisateurs vis-à-vis des bruits générés à l'intérieur du bâtiment (parole, déplacements, activités, équipements).
- Le confort des utilisateurs vis-à-vis des bruits provenant de l'extérieur (transports, équipements, activités).
- Le respect du voisinage par rapport au bruit émis vers le voisinage par le bâtiment, en raison des activités qui s'y déroulent et des équipements qui y fonctionnent.

II - LES PHENOMENES PHYSIQUES EN JEU

Origine du son : Tout son résulte de la vibration d'un corps qui met en vibration l'air environnant, sous forme d'ondes de pression et de dépression.

exemple du diapason :



(a) diapason

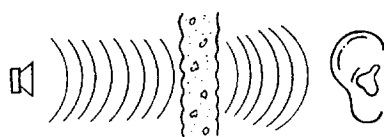
(b) surpression créée par la compression de l'air lors du mouvement de la lame

(c) dépression créée par le mouvement inverse de la lame

(d) ondes acoustiques après plusieurs cycles

Propagation dans l'air : C'est la variation de pression qui se déplace de proche en proche. L'onde acoustique est une onde de pression à l'image d'une onde à la surface de l'eau.

Transmission par les solides : La vibration des corps solides produit la vibration de l'air.

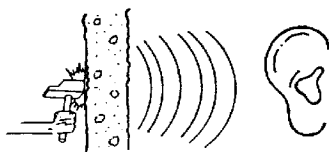


exemples :

la vibration de l'air provoque la vibration d'une paroi. La vibration de la paroi engendre une vibration de l'air dans les locaux voisins. C'est ainsi que le bruit "traverse" une paroi

BRUITS AERIENS

Air → Solide → Air → Récepteur



BRUITS SOLIDIENS

Solide → Air → Récepteur

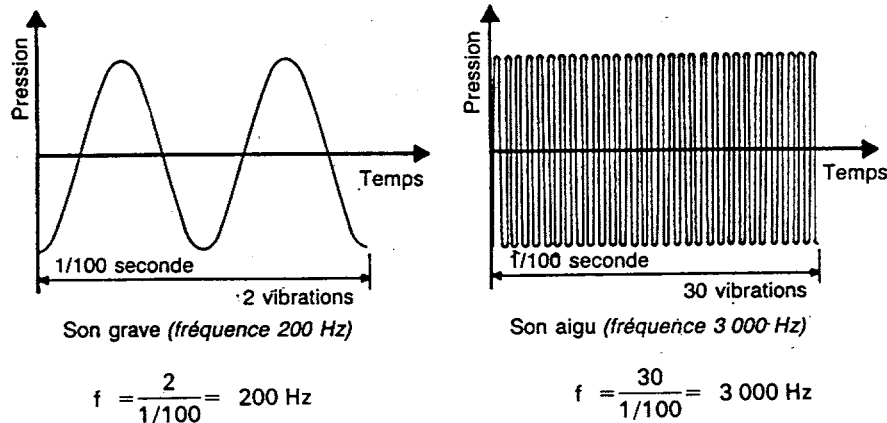
Une paroi directement mise en vibration par des chocs provoquera également la vibration de l'air dans les locaux voisins.

Un son est caractérisé par :

son niveau : Le niveau sonore est ce qui caractérise l'amplitude d'un son. Le terme précis adopté par les normes et règlements est NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE. Il s'exprime en décibel (dB) et est noté Lp (Level pressure).

sa fréquence : ou sa hauteur, exprimée en Hertz (Hz) et correspondant au nombre de vibrations par seconde. Elle permet de distinguer les sons graves des sons aigus.

Exemple :

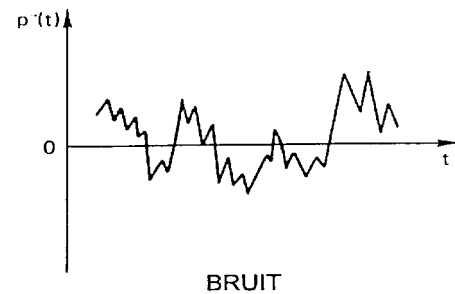


On distingue trois types de fréquences :

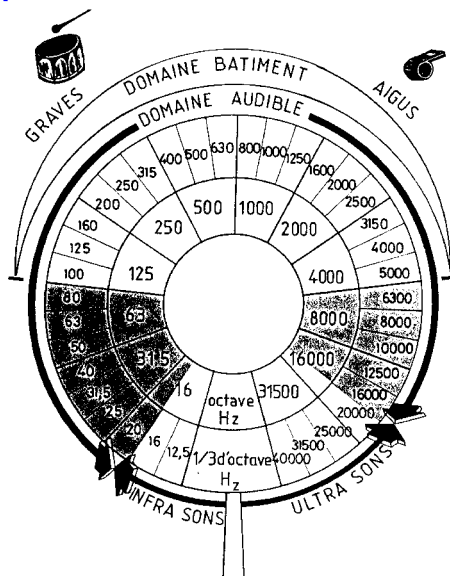
- les fréquences graves (de 20 à 400 Hz),
- les fréquences médium (de 400 à 1 600 Hz),
- les fréquences aiguës (de 1 600 à 20 000 Hz)

Un bruit est un mélange de sons :

Alors qu'un son est caractérisé par une fréquence et un niveau sonore, un bruit est un mélange de sons ayant des fréquences et des niveaux différents. →

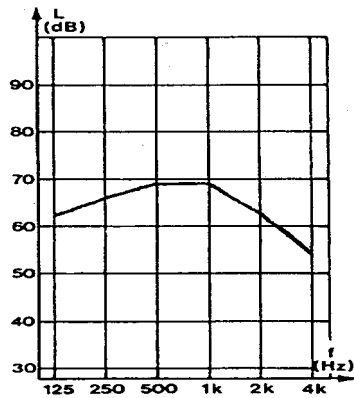


Spectre d'un bruit :



On ne mesure pas un bruit fréquence par fréquence mais par bande de fréquences. On utilise, par exemple les bandes d'octave. Ce sont des bandes de fréquences dont la fréquence centrale d'une bande se déduit de la fréquence centrale de la bande précédente en la multipliant par 2.

← Le dessin ci-contre, présente le découpage, en octave et en tiers d'octave, du spectre sonore allant des infra sons aux ultra sons.



On représente un bruit par son **spectre** : courbe qui représente le niveau sonore en décibel (dB) pour chaque bande de fréquence en Hertz (Hz).

Remarque : Dans le bâtiment on ne retient que 6 groupes de fréquences, chacun d'eux ayant une fréquence centrale. Ces 6 groupes ou bandes de fréquences sont centrés sur 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz.

← Exemple d'un spectre représentant une voix humaine.

Addition et soustraction de niveaux acoustiques

Les décibels, valeurs logarithmiques ne peuvent pas être directement additionnés ou soustraits. Les deux abaques ci-contre, basées sur le calcul logarithmique, traduisent les résultats de ces opérations en utilisant l'écart entre deux niveaux qui ont été mesurés séparément.

Outre les exemples donnés, on constatera notamment que le doublement du nombre de sources sonores identiques (différence = 0) ne se traduit pas par un doublement du niveau de bruit :

$$60 \text{ dB} + 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB} \text{ (et non } 120 \text{ dB)}$$

De même, si les deux bruits ont des niveaux très différents, le plus fort peut masquer le plus faible :

$$60 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 70 \text{ dB} \text{ (70,4 pour être précis)}$$

S'il existe plus de deux niveaux à additionner, il faut répéter le processus en additionnant les niveaux deux par deux après les avoir classés par ordre croissant.

En matière de soustraction, ce qui sera le cas lors de la prise en compte d'un bruit de fond, au delà d'un écart supérieur à 10 dB, la correction devient négligeable. On considère ici que le niveau sonore du bruit perturbateur est équivalent à celui du bruit total.

Le bruit décroît avec la distance

En champ libre, c'est à dire en l'absence de parois, le niveau sonore décroît de 6 dB chaque fois que la distance par rapport à la source est doublée.

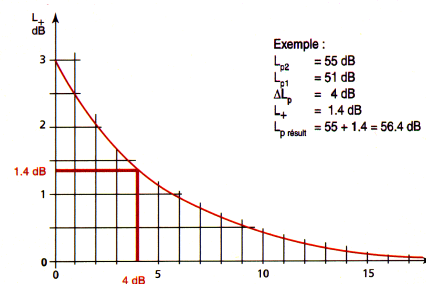
Exemple : si à 10m d'une source de bruit le niveau de pression acoustique est de 70 dB

à 20 m de la source de bruit il sera de 64 dB

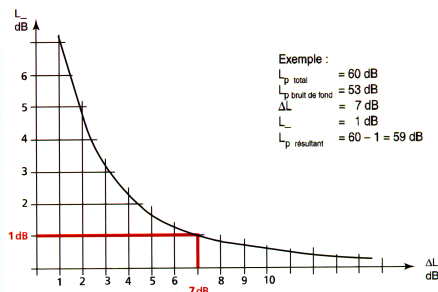
à 40 m il sera de 58 dB

à 80 m il sera de 52 dB, etc

Addition de 2 niveaux de pression acoustique

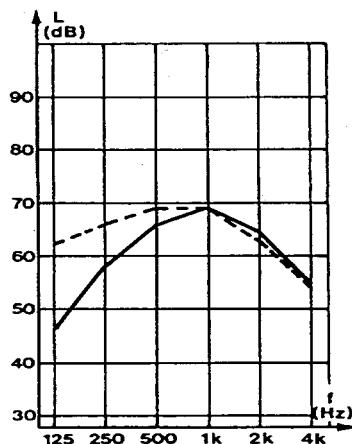


Soustraction de 2 niveaux de pression acoustique



III - LES PHÉNOMÈNES PHYSIOLOGIQUES EN JEUX

L'oreille humaine est sensible à des pressions de 0,00002 Pa (c'est le seuil de l'audition) jusqu'à 20 Pa (seuil de la douleur), ce qui signifie une variation de 1 à 1 000 000. Elle perçoit les sons dont la fréquence varie de 20Hz (sons graves) à 20 000 Hz (sons aigus), mais elle est moins sensible aux sons graves qu'aux sons aigus.



Le décibel "A" (dB(A)) :

Pour caractériser un bruit par une seule valeur, on additionne les niveaux de chaque bande d'octave. Pour tenir compte du fait que l'oreille est moins sensible aux sons graves qu'aux sons aigus, les niveaux sont, au préalable, corrigés en fonction de cette sensibilité. On obtient ainsi un **niveau de bruit global en dB(A)**.

← Les courbes, ci-contre, représentent une voix humaine non corrigée (trait en pointillés) et corrigée de la pondération (A) (trait continu).

Le dB(A) est à utiliser avec prudence. En effet, deux bruits peuvent avoir le même niveau exprimé en dB(A) tout en ayant des spectres totalement différents, et l'un pourra être plus gênant que l'autre.

Quelques exemples de niveaux de bruit en dB(A) :

Campagne tranquille	20
Chambre très calme	25
Appartement calme - rue en zone résidentielle calme	30
Bureau calme	40
Bureau - conversation moyennement bruyante	50
Rue animée - conversation	60
Machine à laver	60 à 75
Aspirateur	70
Rue à fort trafic	80
Musique forte - train (à 25 m)	90
Cris d'enfants - piano	100
Atelier très bruyant (chaudronnerie)	110
Avion à réaction (à 30 m)	120

IV - NOTIONS ÉLÉMENTAIRES D'ACOUSTIQUE APPLIQUÉE AU BÂTIMENT

Aux divers types de bruit sont associées des **mesures**; les **termes** suivants sont souvent employés :

Bruit aérien extérieur :

- bruit créé par le trafic routier, ferroviaire ou aérien → Mesures d'isolement de façade

Bruit aérien intérieur :

- bruit créé par les conversations, la télévision, la chaîne hi-fi, etc → Mesure d'isolement entre locaux

Bruit de choc : (sur le sol)

- bruit créé par le déplacement de personnes, de meubles, la chute d'objets, etc → Mesure du niveau de bruit de choc reçu

Bruit d'équipement :

- bruit créé par les ascenseurs, la robinetterie, la VMC, etc → Mesure du niveau de bruit d'équipement

Réverbération :

- effet de résonance d'un local → Mesure de la durée de réverbération

Bruit de voisinage :

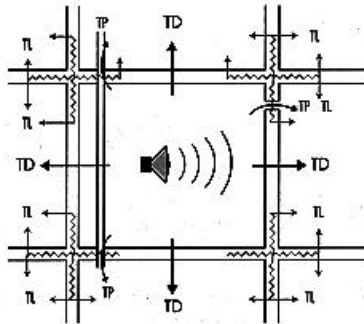
- bruit créé à l'extérieur par les activités ou les équipements → Mesure d'émergence

Les différentes voies de transmission du bruit

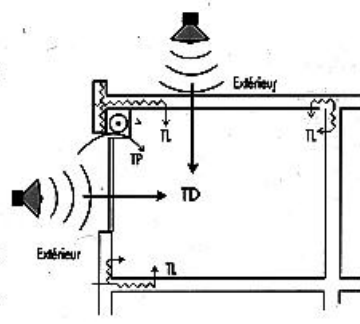
Trois types de transmission sont à prendre en compte :

- Les transmissions directes (TD) par les parois opaques (façade, séparatif, toiture, plancher) et les baies
- Les transmissions parasites (TP) par certains points singuliers (gaines techniques, VMC, entrées d'air, coffres de volets roulants, défauts d'exécution ...).
- Les transmissions latérales (TL) par les parois liées à la façade, à la paroi séparative, à la terrasse ou au plancher.

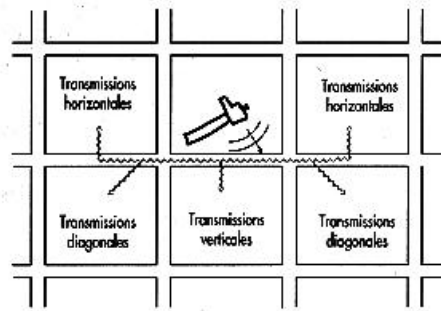
Bruits aériens intérieurs



Bruits aériens extérieurs



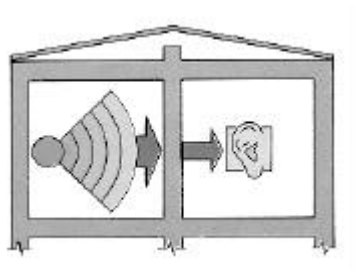
Bruits d'impact



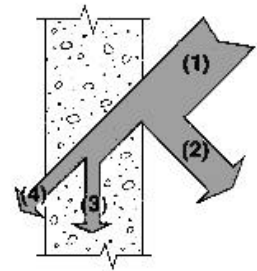
Ne pas confondre isolation et absorption

Une onde sonore (1) rencontrant une paroi est en partie :

- réfléchi (2), →
- absorbé (3),
- transmis (4),



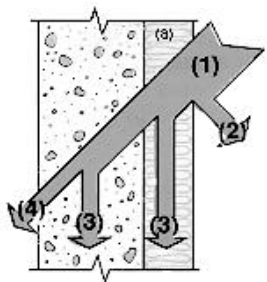
← **L'isolation** est l'ensemble des procédés mis en œuvre pour réduire le niveau sonore, non pas dans le local où il est émis, mais dans le local contigu. On cherche à réduire la partie de l'onde sonore qui est transmise à travers les parois.



Un matériau absorbant (a), posé **sans parement**, augmente la partie absorbée (3) et réduit la partie réfléchi (2) du bruit dans le local où il est placé. Ce type de matériau n'a pratiquement aucune influence sur la partie transmise (4). →

L'absorption ne permet donc pas l'isolation de manière décisive.

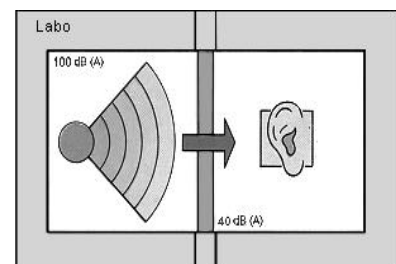
Le facteur (ou **coefficient**) **d'absorption** (α) d'un matériau correspond, pour une fréquence déterminée, à la fraction de la puissance acoustique incidente qui est absorbée par ce matériau.



Ne pas confondre indice d'affaiblissement et isolement

L'indice d'affaiblissement acoustique, noté **R**, caractérise la qualité acoustique d'un élément de construction (paroi, fenêtre, porte ...). Il **est mesuré en laboratoire** pour s'affranchir des transmissions du bruit par les parois latérales. Cet indice est présenté dans un rapport d'essais ou des avis techniques. →

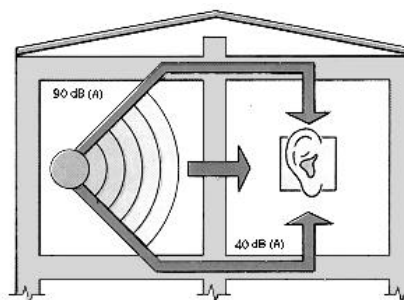
Exemple : Emission = 100 dB, Réception = 40 dB
Indice d'affaiblissement R = 60 dB



L'isolement, noté **D**, représente la valeur de l'isolation entre deux locaux ou entre l'espace extérieur et un local. Il est mesuré sur place, en émettant un bruit de niveau élevé dans un local dit "émission" et en mesurant, à l'aide d'un sonomètre, les niveaux de bruit dans ce local et dans un local voisin dit "de réception".



Exemple : Emission = 90 dB, Réception = 40 dB
Isolement D = 50 dB (isolement brut)



Remarque : L'isolement entre locaux est égal à l'indice d'affaiblissement **R** de la paroi séparatrice, diminué des transmissions latérales (**a**) : **D = R - a**

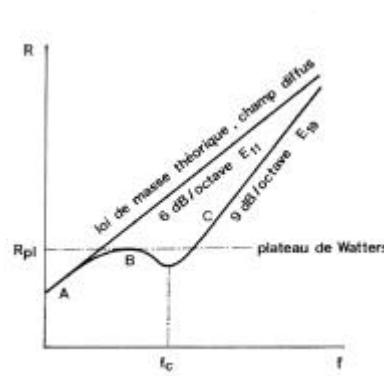
Loi de masse et Indice R des parois simples

Les parois simples sont constituées d'un seul matériau (béton, carreau de plâtre, parpaing, brique). Leur indice d'affaiblissement **R** n'est, en première approximation, fonction que de leur masse surfacique (en kg/m²) et de la fréquence.

Selon la **loi de masse théorique**, on observe une croissance régulière de l'indice R avec la fréquence à raison de 6 dB par octave.

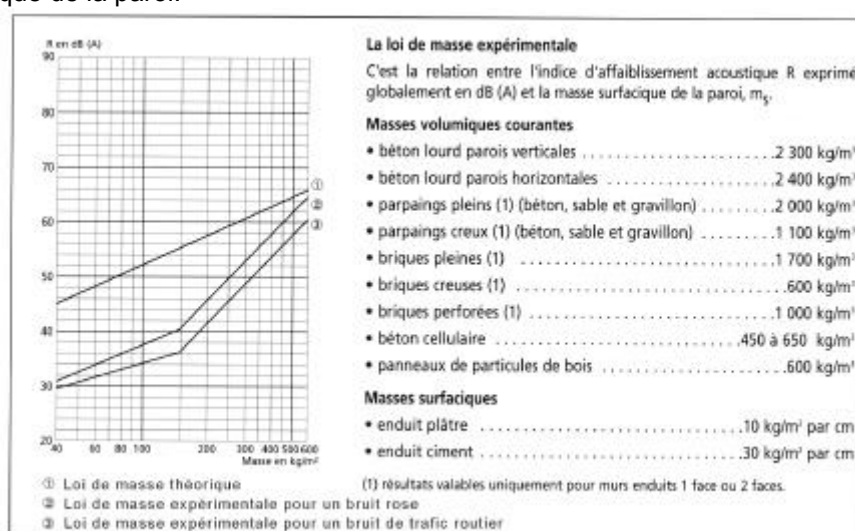
En fait, la loi de masse théorique ne s'applique qu'aux parois dénuées d'élasticité. Condition qui ne se vérifie en fait jamais dans la réalité. Aussi, la **courbe type représentant l'indice R** d'une paroi est-elle différente d'une simple droite.

Dans l'exemple ci-contre, la courbe type de l'indice R des parois simples est comparée à la loi de masse théorique. L'indice d'affaiblissement est le plus faible à une fréquence que l'on nomme **fréquence critique (f_c)**.



L'indice d'affaiblissement acoustique **R** s'exprime aussi globalement (en dB(A)). Pour les parois simples il dépend alors de la masse surfacique et du spectre d'émission choisi. La **loi de masse théorique** montre que R augmente de 6 dB(A) à chaque fois que l'on double la masse surfacique de la paroi.

L'expérimentation a cependant permis de mettre en évidence qu'il existe une corrélation entre la masse et la rigidité d'une paroi. Celle-ci se traduit par une brisure dans la droite bien visibles sur les courbes du graphe ci-contre. La **loi de masse expérimentale** des parois simples est présentée ici pour un bruit rose et pour un bruit de trafic routier.

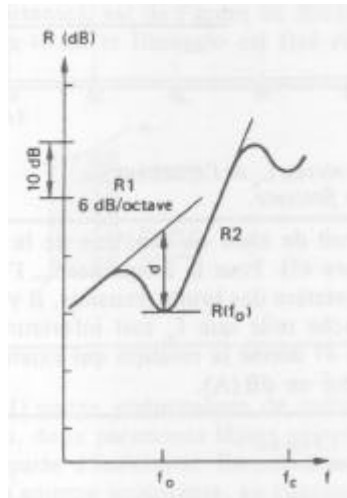


Les valeurs de masses surfaciques courantes présentées ci-dessus permettent de déterminer l'indice R en dB(A) de quelques parois en fonction de leur matériau.

Loi de masse et indice R des parois doubles

Les parois doubles sont constituées de deux parois simples séparées par un vide d'air. Ce vide d'air peut être comblé avec un matériau. L'indice d'affaiblissement acoustique R de ces parois est fonction des caractéristiques suivantes :

- la masse de chaque parement
- l'épaisseur du vide d'air
- l'épaisseur et la nature du matériau dans le vide d'air,
- la fréquence critique de chaque parement.



← Dans le cas des parois doubles, R atteint son minimum aux environs d'une fréquence que l'on nomme la **fréquence de résonance** (f_0) du système. Au delà de cette fréquence, la courbe donnant l'indice d'affaiblissement est croissante puis s'infléchit, dans le cas de parements identiques, près de la fréquence critique de celles-ci.

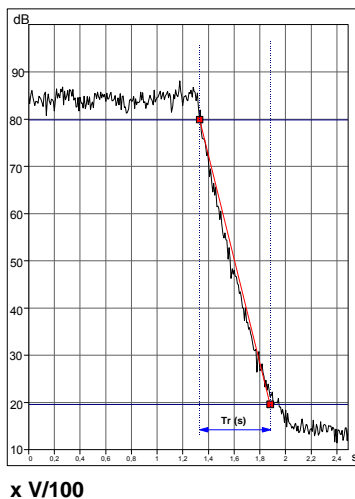
Il est conseillé, en jouant sur les caractéristiques de ces parois, de maintenir f_0 dans les fréquences les plus basses, c'est à dire en dehors de la gamme de fréquences usuelles, et de choisir des parements dont les fréquences critiques sont sensiblement différentes. Sinon le système pourrait ne pas être plus efficace qu'un seul de ses parements.

Ne pas confondre isolement brut et isolement normalisé

L'isolement brut (**D**) est la différence entre le niveau de bruit (L_1) dans un local "d'émission" et le niveau de bruit (L_2) dans un local "de réception" : **$D = L_1 - L_2$**

L'isolement normalisé (**Dn**) est l'isolement brut (**D**) corrigé en fonction de la durée de réverbération réelle (T) mesurée dans le local de réception et une durée de réverbération de référence (T_0) : **$D_{nT} = D + 10 \text{ Log } T/T_0$** . Dn est la valeur qui est utilisé dans les relations contractuelles (programmes et réglementations).

Durée de réverbération



La durée de réverbération indique le temps nécessaire à un bruit pour décroître de 60 dB, après arrêt de la source sonore. Elle s'exprime en secondes et permet de caractériser un local.

On notera que **plus le local comporte de matériaux absorbant, plus la durée de réverbération est courte.**

Nous avons vu plus haut que, dans le calcul des niveaux et des isolements normalisés, on compare la durée de réverbération réelle (mesurée) du local de réception à une durée de réverbération de référence T_0 .

Quelques exemples de T_0 :

- logements : - $T_0 = 0,5$ seconde
- salle de sports : - $T_0 = 0,14 V^{1/3}$ (avec V = volume de la pièce)
→ ex : salle de basket 4000 m^3 : $T_0 = 2,2$ s
- en l'absence de prescription :
- pour $V < 50 \text{ m}^3$: $T_0 = 0,5$ seconde

- pour $V > 50 \text{ m}^3$: $T_0 = 1$ s

→ ex : local 150 m^3 : $T_0 = 1,5$ s

Aire d'absorption équivalente A d'un local

C'est la somme des produits des surfaces des parois d'un local par leur coefficient d'absorption respectif : **$A = \sum (a_i \times S_i)$**

L'aire d'absorption équivalente d'un local est liée au volume V et à la durée de réverbération T de ce local par la formule de Sabine : **$T = 0,16 V/A$** (avec : T en secondes et V en m^3)

Intelligibilité de la parole

L'intelligibilité de la parole ou du chant est une composante essentielle de la qualité d'un grand nombre de salles. Différentes méthodes d'évaluation de l'intelligibilité, relativement complexes, ont vu le jour.

Parmi les critères d'évaluation les plus significatifs utilisés par ces méthodes nous retiendrons la "**réduction du pourcentage d'articulation des consonnes**" (% **ALC** : Percentage of Articulation Loss in Consonants) et l'"**indice de transmission de la parole**" (**STI** : Speech transmission index), le **RASTI** correspond à la méthode d'évaluation dite rapide de cet indice.

L'évaluation de l'ALC concerne l'émergence des consonnes, le RASTI quant à lui, tient compte du nombre d'items (phrases, mots ou syllabes) correctement identifiés. Une correspondance existe entre RASTI et ALC.

Toutes les expériences ont montré une évolution défavorable de ces indices lorsque la durée de réverbération du local augmente.

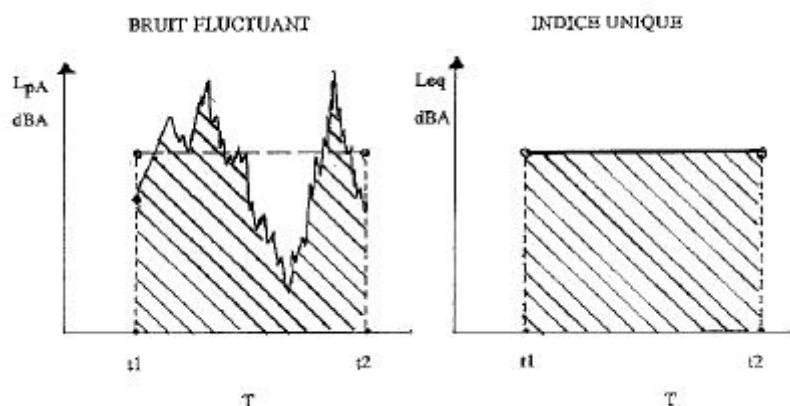
Le tableau ci-dessous présente la correspondance entre ces indices ainsi que l'appréciation qui peut être portée sur l'intelligibilité d'un local en fonction de leur valeur.

RASTI	ALC	AP	RASTI	ALC	AP.	RASTI	ALC	AP.
0,20	57,7	M	0,48	12,7	C	0,76	2,8	E
0,22	51,8	M	0,50	11,4	C	0,78	2,5	E
0,24	46,5	M	0,52	10,2	C	0,80	2,2	E
0,26	41,7	M	0,54	9,1	C	0,82	2,0	E
0,28	37,4	M	0,56	8,2	C	0,84	1,8	E
0,30	33,6	L	0,58	7,8	C	0,86	1,6	E
0,32	30,1	L	0,60	6,6	B	0,88	1,4	E
0,34	27,0	L	0,62	5,9	B	0,90	1,3	E
0,36	24,2	L	0,64	5,3	B	0,92	1,2	E
0,38	21,8	L	0,66	4,8	B	0,94	1,0	E
0,40	19,5	L	0,68	4,3	B	0,96	0,9	E
0,42	17,5	L	0,70	3,8	B	0,98	0,8	E
0,44	15,7	L	0,72	3,4	B	1,00	0,0	E
0,46	14,1	C	0,74	3,1	B			

Correspondance entre STI, ALC et appréciation (AP) de l'intelligibilité :
M = mauvais, L = limite, C = correct, B = bon, E = excellent

Le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A ($L_{Aeq}(t)$)

Le niveau continu équivalent est un indice énergétique qui permet de caractériser et de quantifier un bruit fluctuant dont le niveau varie dans le temps. Il correspond au niveau sonore FICTIF qui, maintenu constant pendant la durée de l'observation, véhicule la même énergie sonore que le niveau fluctuant réellement observé.



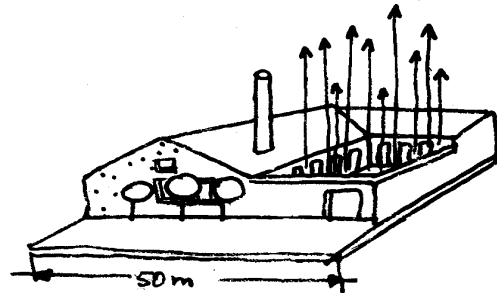
Tout niveau continu équivalent doit impérativement être associé à une durée ou à un intervalle de temps.

L'émergence de bruit

L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit résiduel correspondant à l'ensemble des bruits habituels et celui du bruit ambiant comportant le bruit particulier en cause. L'activité ainsi que le fonctionnement des équipements d'un bâtiment sont susceptibles de provoquer une émergence de bruit vers le voisinage.

Les valeurs admises de l'émergence sont calculées à partir des valeurs de 5 dB(A) en période diurne (7h00 - 22h00) et de 3 dB(A) en période nocturne (22h00 - 7h00). Une correction s'applique à ces valeurs en fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier.

Tant sur le plan technique (choix des appareils) que sur le plan architectural des dispositions doivent être prises pour limiter les nuisances vers le voisinage.



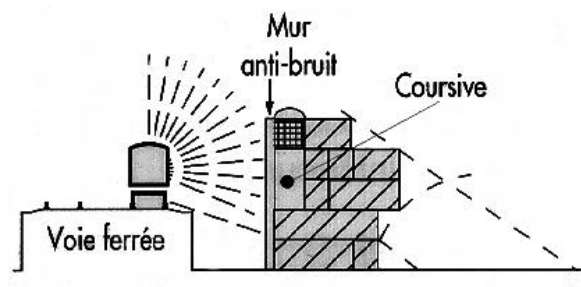
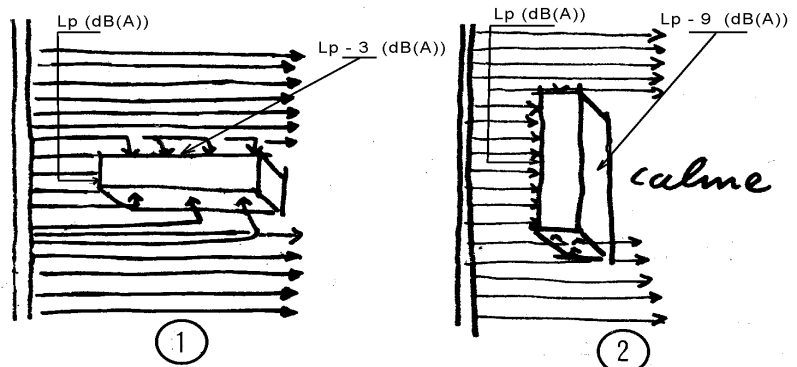
Un exemple de disposition architecturale →

...là, elles sont contenues dans leur aire.

V - LES POINTS DE VIGILANCE

L'exposition au bruit du bâtiment et des locaux

Plan-Masse : On doit chercher à limiter le nombre de façades exposées, et à dégager des espaces extérieurs calmes.



Plan des locaux :

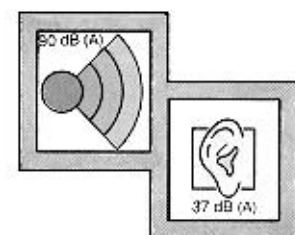
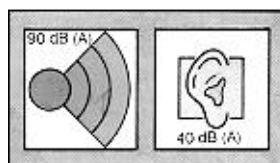
Vis à vis du bruit extérieur : Le principe général consiste à placer les locaux dont l'occupation est la plus soutenue du côté de la façade calme. Les volumes de service et de circulation placés du côté de la façade exposée formeront tampon entre le bruit et les espaces occupés. D'autres critères dont l'ensoleillement sont cependant également à prendre en compte.

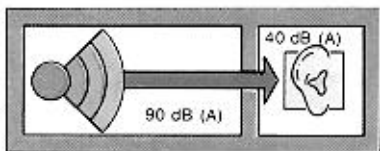
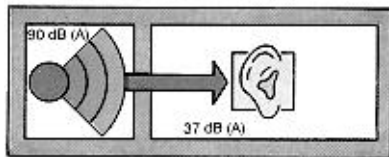
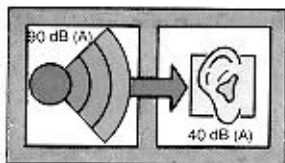
Vis à vis des bruits intérieurs : La contiguïté horizontale ou verticale, entre locaux calmes et locaux bruyants, dont l'utilisation est simultanée, est à éviter. Là aussi, un volume tampon (pièce de service, circulation) est souhaitable.

Volume et disposition des locaux

La surface de la paroi séparative et le volume du local de réception ont une influence sur l'isolement entre locaux.

Par exemple, si la surface commune à deux locaux est divisée par deux, l'isolement est amélioré de 2 à 3 db (A).





Le fait d'augmenter le volume du local de réception améliore l'isolement,

par contre, augmenter le volume du local d'émission ne le modifiera pas.

L'isolement peut donc être différent suivant le sens de la mesure.

Qualité sonore des locaux

Un local peut être un lieu où l'écoute doit être favorisée (salle de spectacle, salle d'enseignement ...), un lieu où le niveau sonore doit être diminué (locaux industriels, ateliers, bureaux ...) ou bien encore un lieu où l'acoustique est spécifique (salle de sport, restaurants ...).

Pour les petits locaux (jusqu'à quelques centaines de m³), les caractéristiques acoustiques appropriées seront obtenues en maintenant la durée de réverbération entre certaines limites. Oubliée lors de la conception, il sera néanmoins possible après construction de corriger l'acoustique d'un petit local en répartissant des surfaces absorbantes et des surfaces réverbérantes sur ses parois. Les surfaces pouvant recevoir des matériaux absorbants doivent néanmoins exister en quantité suffisante pour permettre cette opération.

Pour les grands locaux, tels que les amphithéâtres et les salles de concert, le pouvoir d'absorption, le niveau des bruits parasites (bruits extérieurs et bruits d'équipements) et surtout la forme de la salle, sont autant de paramètres à prendre en compte dès la conception si l'on veut obtenir une écoute convenable.

Un amphithéâtre réalisé selon les schémas ci-dessous permettra aux auditeurs quelque soit leur place, grâce à la trajectoire des ondes sonores, de bien entendre le conférencier tout en le voyant bien.

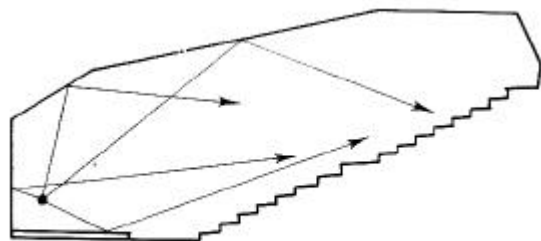


FIG. VII-2. — Coupe longitudinale d'un amphithéâtre type.

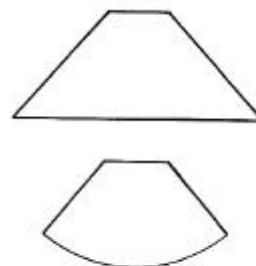


FIG. VII-1. — Formes de salles trapézoïdales et en conque.

Quelques postes du bâtiment face au bruit

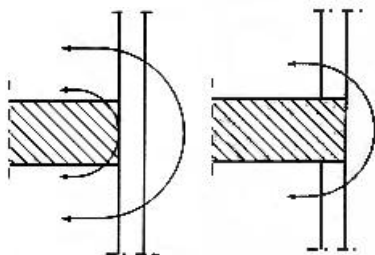
Façades

Les façades sont composées de parois opaques (murs, allèges, ...), de parties vitrées, d'entrées d'air, et éventuellement de coffres de volets roulants. La qualité acoustique d'une façade est définie par son indice d'affaiblissement résultant déterminé à partir des indices d'affaiblissement ou d'isolement et des surfaces de chaque élément composant la façade.

Parties opaques

En règle générale, l'indice d'affaiblissement d'un matériau est proportionnel à la masse de celui-ci (cf : "Loi de masse") : plus la paroi est lourde, plus elle s'oppose à la transmission du bruit. La masse des

parois opaques donne en général un indice d'affaiblissement beaucoup plus important que celui des fenêtres. L'isolement acoustique d'une façade est principalement lié au rapport surface opaque - surface vitrée dans la façade, à la qualité des éléments vitrés (vitrage, menuiserie), des entrées d'air et le cas échéant des coffres de volets roulants.



Une attention particulière est à apporter aux façades dites légères (panneaux de façade et façades rideaux). Ces procédés étant susceptibles de favoriser les transmissions des bruits intérieurs par contournement entre deux locaux adjacents ou superposés.

Toute paroi légère et rigide peut engendrer un phénomène de résonance qui amplifie le bruit transmis, ce qui peut être le cas de certaines cloisons ou contre-cloisons.

Partie vitrée

Quand la surface vitrée d'une façade est doublée, les pertes d'isolement sont estimées à 3 dB(A).

À masse surfacique égale, un simple vitrage a un affaiblissement acoustique supérieur à un double vitrage composé de vitrages identiques avec lame d'air. Mais il est moins isolant du point de vue thermique.

Un double vitrage composé de vitrages d'épaisseurs différentes, présente des performances acoustiques supérieures de 2 à 3 dB (A) à celles d'un double vitrage composé de vitrages identiques. Des performances acoustiques importantes sont également obtenues avec des verres feuilletés acoustiques.

Les performances acoustiques d'une fenêtre varie également en fonction de sa menuiserie. Le matériau et le type d'ouverture ont une influence. Les ouvrants dits à frappe sont en général plus performants que ceux coulissants.

Les façades utilisant la technique du verre extérieur collé (VEC) présentent les mêmes points faibles que les murs rideaux (transmission latérales des bruits intérieurs). Une bonne qualité acoustique vis à vis des bruits extérieurs nécessite de prévoir, pour ce type d'ouvrage, une deuxième peau séparée de la façade en VEC par des espaces tampons.

Toitures

Les toitures sont souvent les éléments les plus légers de l'enveloppe. Dans certains cas elles peuvent être autant exposées que les façades aux bruits aériens en provenance de l'extérieur. Leur surface augmentant avec leur pente, elles peuvent être des éléments prépondérants de l'exposition à certains bruits (avions, trafic sur pont ou viaduc, etc...).

Une attention particulière est à apporter vis à vis de l'utilisation de certains matériaux (bacs métalliques, ...) qui se révèlent bruyants sous l'effet de la pluie.

Cas de toitures-terrasses : leur masse les rend généralement très isolantes aux bruits aériens.

Entrées d'air

Elles sont caractérisées par leur indice d'isolement acoustique "Dne" en dB(A). Plus cet indice est élevé et plus l'entrée d'air est performante. Pour des isollements très élevés on s'orientera vers des dispositifs spéciaux placés dans l'épaisseur de la maçonnerie.

Une ventilation double flux évite d'avoir une prise d'air extérieure pour chaque pièce, ce qui réduit ainsi leur perméabilité au bruit.

Planchers

Ils doivent limiter la transmission des bruits aériens et celle du bruit de chocs. Pour les bruits aériens, la problématique est identique à celle des murs; la masse du matériau sera un des meilleurs atouts. Pour le bruit de chocs, les techniques de dalles flottantes ainsi que certains revêtements de sol en limitent la transmission.

Revêtements de sol

On peut classer les revêtements de sol en deux groupes :

- les revêtements de sol souples : plastiques et textiles en dalles ou en lés
- les revêtements de sol dur : les carrelages, les parquets

Une sous-couche résiliante ou une dalle flottante améliorera l'efficacité d'isolation acoustique aux bruits d'impact entre locaux.

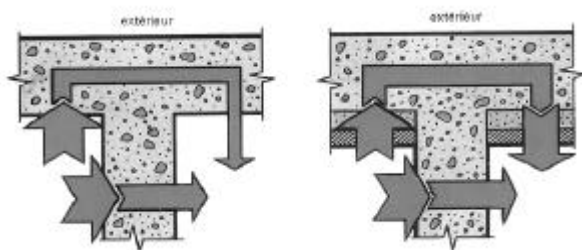
L'indice qui caractérise l'efficacité d'un revêtement de sol ou d'une dalle flottante par rapport au bruit d'impacts est **DL**. Les valeurs de cet indice sont déterminées en laboratoire et exprimées en dB(A).

S'ils sont absorbants, les revêtements de sol peuvent également contribuer à la correction acoustique.

Isolation thermique

Un isolant rigide, comparable à une cloison légère et rigide peut amplifier la transmission du bruit.

Exemple sur un mur de façade →



Équipements techniques

Il faut distinguer le bruit des équipements du bâtiment, transmis à l'intérieur de celui-ci et ceux transmis vers le voisinage. Les équipements concernés sont les ascenseurs, installations sanitaires, installations de ventilation (bouches et groupes), de chauffage, de climatisation, de froid, pompes de relevage, portes automatiques de garage, etc.

Pour limiter le niveau de bruit à l'intérieur du bâtiment, la désolidarisation de l'équipement par rapport à la structure du bâtiment sera le plus souvent nécessaire ainsi que pour certains équipements l'installation d'un capot insonorisant (brûleurs de chaudière, pompe, etc) et/ou de pièges à son (grilles d'extraction ou d'entrée d'air, etc). Les gaines techniques devront être isolées et les conduits, gaines et canalisations, dans certains cas, également désolidarisés de la structure, notamment en traversées de plancher ou de cloison.

Prise en compte de l'environnement

En ce qui concerne le **bruit émis vers le voisinage**, on prendra en compte l'augmentation du bruit préexistant provoquée par les équipements et les activités. Cette augmentation appelée "**émergence**" devra rester dans des limites fixées par la réglementation sur les bruits de voisinage (5 dB(A) le jour et 3 dB(A) la nuit, hors corrections liées à la durée et à la fréquence d'émission du bruit).

La réglementation

L'aspect réglementaire n'est pas à négliger. Des textes concernant chaque type d'établissement existent ou sont prévus (Établissements d'enseignement, établissements de santé ou de soins, salles de sport, Hébergement de tourisme, etc). Ces textes précisent les limites minimales ou maximales à respecter en matière :

- d'isolement au bruit aérien entre locaux,
- de transmission du bruit de choc,
- de durée de réverbération
- de niveau de bruit d'équipement
- de bruit transmis vers le voisinage

Dans certains cas des études acoustiques spécifiques sont imposées (locaux de grand volume).

A défaut de réglementation (Ministérielle ou Préfectorale), des recommandations, voire des normes, peuvent définir les exigences à faire figurer dans les documents contractuels.

VI - GLOSSAIRE

ABSORPTION (facteur d') d'une surface : à une fréquence déterminée et dans des conditions spécifiées, pour un élément donné, fraction de la puissance acoustique incidente qui est absorbée par cet élément.

ABSORPTION EQUIVALENTE (aire d') (A) d'un local ou d'un objet dans un local : aire de la paroi d'un matériau parfaitement absorbant (100 % d'absorption) ayant la même absorption acoustique que le local ou l'objet considéré. Cette aire s'exprime en m^2 . Elle est, dans le cas d'un local, liée au volume V et à la durée de réverbération T de ce local par la formule de Sabine. $T=0,16 V/A$, T s'exprimant en secondes et V en m^3 .

ABSORPTION DE SABINE (facteur d') : rapport de l'aire d'absorption équivalente d'une surface à son aire réelle. Il se désigne par μ_s et est dépendant de la fréquence. **Sa valeur va de 0 à 1; la plus élevée correspondant à la plus forte absorption.**

μ_w : indice d'évaluation de l'absorption. Cet indice est une notion introduite en France par la Normalisation Européenne. Il représente, selon la norme EN ISO 11-654, une valeur unique, indépendante de la fréquence, égale à la valeur de la courbe de référence à 500 Hz après translation selon les règles définies par la norme internationale en question. Comme pour le coefficient μ_s , **sa valeur va de 0 à 1. Plus elle est élevée, plus le matériau est absorbant.**

ANALYSE SPECTRALE : La recherche des composantes élémentaires d'un bruit conduit à son analyse spectrale. Cette analyse introduit la notion de fréquences graves, médium et aiguës. Le découpage s'effectue généralement par bandes de fréquences dites : bandes d'octave, de tiers d'octave, éventuellement de 1/12 ou de 1/24^{ème} d'octave ou même si nécessaire, par fréquence discrète (c'est à dire par fréquence précise).

BRUIT : mélange confus de sons. Le bruit est une vibration aléatoire ; il est constitué de la superposition d'un ensemble de composantes élémentaires qui n'ont entre elles aucune corrélation. En physiologie, le bruit entraîne une sensation auditive désagréable ou gênante.

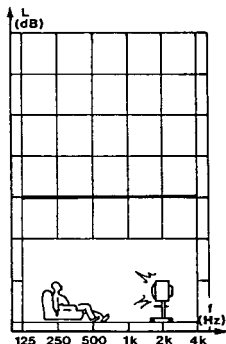
BRUIT AMBIANT : Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches et éloignées.

BRUIT DE CHOCS NORMALISÉ : bruit produit, dans un local, par une machine à cinq marteaux, normalisée par la NF S 31-052, frappant le sol d'un autre local.

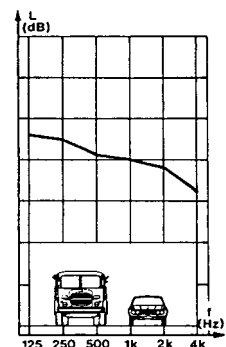
BRUIT PARTICULIER : Composante du bruit ambiant qui peut être identifié spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête.

BRUIT RESIDUEL : Bruit ambiant, en l'absence du (des) bruit(s) particulier(s) objet(s) de la requête considérée.

BRUIT ROSE : bruit normalisé ayant un caractère aléatoire stationnaire et dont l'énergie contenue dans chacune des bandes d'octave (ou de tiers d'octave) est constante. Ce bruit est utilisé pour les mesures d'isolement à l'intérieur des bâtiments et pour
← les mesures d'isolement de façade vis à vis des bruits d'avions.



BRUIT ROUTIER : un bruit est appelé "routier ou route" lorsque l'énergie contenue dans chacune des bandes d'octave (ou de tiers d'octave) possède un spectre proche de celui émis par une voie à grande circulation. Plus riche en fréquences grave et moins riche en fréquences aiguës que le bruit rose, ses valeurs sont normalisées par bandes de fréquences. Il est utilisé pour les mesures d'isolement de façade vis-à-vis du bruit du trafic routier.



DÉCIBEL (dB) : unité sans dimension utilisée pour exprimer sous forme logarithmique le rapport n de deux puissances acoustiques : $n = 10 \log (W1/W0)$. Il est égal au dixième d'un Bel.

Dne : est le symbole utilisé pour indiquer l'isolement acoustique normalisé d'un équipement tel qu'une entrée d'air ou qu'un coffre de volet roulant. Cette valeur est issue de mesures en laboratoire et calculée vis-à-vis d'un bruit routier ou d'un bruit rose. Ce symbole est normalisé par rapport à une aire d'absorption équivalente de référence A_0 qui est de 10 m^2 (d'où l'ancienne appellation Dn_{10}).

DUREE DE REVERBERATION (« Tr ») : en secondes : temps mis par le son pour passer de sa valeur initiale à une valeur un million de fois plus faible ($10 \log 10^6$: décroissance de 60 dB), après que la source sonore ait cessé d'émettre.

ÉMERGENCE : modification temporelle du niveau du bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier. Cette modification porte sur le niveau global ou sur le niveau mesuré dans une bande quelconque de fréquence.

FRÉQUENCE (f) : nombre de fois qu'une grandeur périodique se reproduit identiquement à elle-même pendant une seconde. C'est l'inverse de la période (T). f s'exprime en hertz (Hz)

FRÉQUENCE CRITIQUE : fréquence où le rayonnement (ç.à d. la capacité à transmettre le son) d'une paroi simple est à son maximum. En conséquence, l'indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi simple sera à son minimum aux environs de la fréquence critique.

FRÉQUENCE DE RÉSONANCE : on emploie ce terme dans le cas de parois comprenant deux parements. A cette fréquence, l'affaiblissement du son est notablement limité par l'effet de résonance au sein de la paroi. L'indice d'affaiblissement acoustique R d'une paroi double sera à son minimum aux environs de la fréquence de résonance.

NIVEAU DE BRUIT EQUIVALENT (« Leq ») :

Lorsqu'un bruit n'est pas stable dans le temps (bruits fluctuants de circulation routière ou de machines) son évolution peut être enregistrée par une méthode graphique. Mais en traitant le signal par une autre méthode, la transformée rapide de Fourier (F.F.T.), ce bruit fluctuant peut être caractérisé par une valeur unique représentant celle d'un bruit stable qui aurait développé la même énergie pendant la même période d'observation. Cette valeur unique est dite niveau de bruit équivalent, elle s'écrit : Leq. (La lettre « L » signifie en anglais « level », c'est l'écriture retenue par la norme NF X 02-207 d'Août 1985 : grandeurs, unités et symboles d'acoustique). Les résultats sont obtenus par le calcul de façon à être présentés par octaves ou tiers d'octave...

Le Leq peut également exprimer le contenu d'une bande de fréquence ou même d'une fréquence ou même d'une fréquence discrète.

NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE D'UN SON (en un point) : exprimé en décibels, c'est vingt fois le logarithme du rapport de la pression efficace du son à une pression acoustique de référence :
 $L_p = 20 \log (p/p_0)$ où $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

OCTAVE : intervalle entre deux sons dont les fréquences sont dans le rapport 2/1. La fréquence centrale d'une bande d'octave est dans le rapport 1,41 avec les deux fréquences extrêmes de cette octave.

La division de l'octave en trois intervalles égaux conduit aux 1/3 d'octave. Le rapport de deux fréquences séparées par 1/3 d'octave est 1,26.

PRESSION ACOUSTIQUE INSTANTANÉE : en un point de l'atmosphère, différence entre la pression existant à un instant donné et la pression atmosphérique. L'unité est le Pascal (Pa : 1 Newton par m^2).

PRESSION ACOUSTIQUE EFFICACE : Elle est égale à la pression instantanée maximum divisée par $\sqrt{2}$.

PRESSION ACOUSTIQUE DE RÉFÉRENCE : pression p_0 égale à $2 \cdot 10^{-5}$ Pascals par convention. Elle correspond approximativement à la pression acoustique d'un son de fréquence 1000 Hz de l'intensité la plus faible que peut percevoir l'oreille (en l'absence de bruit de fond).

SALLE RÉVERBÉRANTE : salle normalisée très réfléchissante, aux parois non parallèles, destinée aux mesures d'absorption et présentant une durée de réverbération très longue.

SALLE SOURDE ou ANÉCHOÏDE : salle dont les parois sont rendues aussi absorbantes que possible et destinée aux études sur l'émission de sources sonores (instruments de musique ou matériels).

SON PUR : son produit par une variation de pression acoustique sinusoïdale.

SONOMÈTRE : appareil comprenant un microphone, un amplificateur, des réseaux pondérateurs A, B, C, D et un indicateur, utilisé pour la mesure des niveaux de pression acoustique des bruits suivant des spécifications déterminées. Les lectures faites en utilisant les réseaux pondérateurs les plus courants sont exprimés en dB(A) et dB(C).

VII - BIBLIOGRAPHIE

- "La qualité acoustique des lycées et collèges" - Guide Ministère de l'environnement - 1996
- "Maîtrise de l'acoustique dans les équipements de sport" - Guide Secrétariats d'État Environnement et Jeunesse et Sports édition CIDB - 1989
- "Exigences Réglementaires et Confort Acoustique" - Guide CATED - 1998
- "Bruit des équipements" - Guide de l'AICVF - édition PYC - 1997
- "Fiches d'accompagnement de la NRA" - DGUHC
- "Confort acoustique dans les locaux de restauration scolaire" - Approche technique à l'usage des collectivités territoriales - Ministère de l'Environnement - 1994
- "L'acoustique du bâtiment par l'exemple", 50 cas réels analysés et commentés - Le Moniteur - 1994
- "Maîtrise du bruit dans les restaurants collectifs" - ADEME - 1998
- "L'acoustique des locaux scolaires" - Éducation Nationale, Jeunesse et Sports - 1989
- "Les collectivités face au bruit" - Dossier d'experts - La Lettre du Cadre Territorial - 1993
- "Lutter contre le bruit" - Que choisir Spécial n° 35 - 1998
- Loi relative à la lutte contre le bruit (dite "Loi bruit") du 31 décembre 1992 et textes réglementaires.

Ce mémento sur le confort acoustique représente l'un des quatre premiers documents synthétiques relatifs aux ouvrages et systèmes techniques du bâtiment. Ils ont pour objet d'apporter rapidement des informations de base utiles aux chargés d'opérations des services des constructions publiques des DDE.

Tous les mémentos comportent une structure commune : rappel des enjeux, présentation des définitions élémentaires ou description des systèmes selon les cas, mise en exergue des points de vigilance à surveiller, un glossaire et une bibliographie.

Les trois autres documents concernent :

- Les toitures*
- Les façades*
- Le confort thermique*