

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**SCIENCE DES MATERIAUX
DE CONSTRUCTION**

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

L'ACOUSTIQUE.

L'acoustique est la science physique et physiologique de l'émission, de la propagation et de la réception des sons. Si les premières connaissances relatives à ce sujet sont déjà anciennes, les lois établissant le caractère vibratoire des ondes sonores ne datent que du XVII^e siècle.

Le développement des nuisances sonores (bruits), engendrées par la vie moderne, a conduit à prendre en compte la qualité acoustique des constructions. La réglementation fixe des valeurs d'isolement pour les logements, aussi bien vis-à-vis des bruits provenant des locaux voisins.

L'isolation acoustique des locaux est basée sur l'affaiblissement de la transmission des sons par les parois périphériques.

Une loi expérimentale, dite loi de masse, a établi l'amélioration de l'affaiblissement lorsque la masse d'une paroi simple (la majorité des parois séparatives) augmente.

Le béton apporte ainsi une solution efficace à la réalisation de parois présentant, pour une épaisseur acceptable, le degré d'affaiblissement acoustique souhaitable : un mur en béton plein de 15cm d'épaisseur, représentant une masse surfacique de 350 kg/m^2 , procure un affaiblissement de 56dB (A) alors que l'exigence réglementaire courante est de 51 dB(A).

Ce résultat est d'autant plus remarquable que la fréquence critique –inévitabile, quel que soit le matériau et correspondant à une diminution de l'isolement- se déplace vers des fréquences basses lorsque la paroi s'alourdit et intervient donc dans une plage où l'oreille y est peu sensible.

LE SON.

Le son est un phénomène physique qui se traduit par la mise en vibration du milieu entourant la source d'excitation qui en est la cause. La vibration (généralement l'air) applique au tympan de l'oreille une suite de variations de pressions, à l'origine de la sensation physiologique auditive.

La perception sensorielle est influencée par deux caractéristiques importantes du son : son intensité et sa fréquence.

L'intensité du son est évaluée à partir du niveau de pression acoustique L_p (exprimé en décibels), fonction logarithmique de la valeur relative de la pression acoustique efficace p de l'onde sonore par rapport à la pression acoustique p_0 de référence qui correspond au seuil d'audibilité.

$$L_p = 10 \log (p/p_0)^2$$

Pressions acoustiques (Pa)	Niveaux (dB) $L_p = 10 \log (p/p_0)^2$	Exemples
200	140	Avion à réaction au décollage (niveau de pression intolérable).
20	120	Banc d'essai pour moteurs ; atelier de chaudronnerie.
2	100	Intérieur d'un autobus ; Klaxon à 4m.
0,2	80	Rue à grande circulation ; bureau avec machines comptables.
0,02	60	Rue à faible circulation ; bureau ; conversation courante.
0,002	40	Campagne tranquille ; conversation à voix basse.
0,0002	20	Studio d'enregistrement.
0,00002	0	Seuil d'audibilité de l'homme jeune pour les sons purs de fréquence 1 000 Hz.

La fréquence exprimée en Hertz (Hz) est le nombre de vibrations par seconde. L'oreille fait correspondre à la fréquence les sensations physiologiques de hauteur du son qui permettent de distinguer les sons graves (fréquence basse) des sons aigus (fréquence élevée). L'oreille humaine perçoit les sons dont la fréquence est comprise entre 20 et 20 000 Hz.

Le bruit est une association complexe de sons de fréquences différentes. Si on représente le niveau de pression sonore en fonction de la fréquence, on obtient un diagramme appelé spectre de bruit.

L'isolation d'une paroi n'est pas la même selon la fréquence du son, la perception par l'oreille non plus. C'est pourquoi on classe les sons selon leur fréquence : graves (20 à 400 Hz), médiums (400 à 1 600 Hz) ou aigus (1 600 à 20 000 Hz).

Dans l'étude de la transmission des sons dans les bâtiments, on utilise des bruits d'émission dont le spectre est normalisé : "bruit rose" pour les mesures des bruits intérieurs, "Bruit route" pour les mesures de bruits provenant de l'extérieur.

Le bruit rose est un bruit dont l'énergie sonore est également répartie entre les bandes d'octave (intervalle de fréquence compris entre une fréquence f et une fréquence $2f$). Pour un spectre reporté sur un graphique avec une échelle logarithmique de fréquences, le bruit rose est donc représenté par une droite horizontale.

Le bruit route correspond à un spectre reproduisant un trafic routier moyen. Ce spectre résulte de nombreuses mesures de trafics réels et présente par octaves les valeurs d'énergie suivantes.

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau de pression (dB)	71	70	66	65	63	57

Pour simplifier l'expression du niveau sonore d'un bruit émis ou reçu et le représenter par une seule valeur, on a été conduit à déterminer des courbes d'égale sensation sonore (sonie), dont le niveau d'intensité sonore décroît avec la fréquence (la perception de l'oreille croît en effet à mesure que la fréquence augmente jusqu'à 3 à 4000 Hz).

Le niveau d'un bruit ainsi pondéré par fréquences peut être exprimé par une seule valeur, qui est le niveau sonore global pondéré exprimé en dB (A).

Le bruit précédemment défini correspond, par exemple, à un niveau global pondéré de 70dB(A).

La capacité d'isolement d'une paroi est généralement fournie avec deux valeurs, correspondant à l'affaiblissement acoustique obtenu avec le bruit rose d'une part, avec le bruit route d'autre part.

Un mur en blocs pleins en béton de 20 cm enduits deux faces procure ainsi un affaiblissement R_{rose} de 59 dB (A) et R_{route} de 54 dB (A).

La seconde valeur (R_{route}) est toujours plus faible que celle de R_{rose} , car une paroi est plus sensible aux fréquences basses, dont le niveau d'intensité est plus fort dans le spectre du bruit route.

LES BRUITS ET LA CONSTRUCTION.

Les principales sources de bruit.

On peut distinguer les bruits intérieurs à la construction et les bruits extérieurs.

Parmi les premiers, les plus importants sont les personnes elles mêmes : une conversation normale entraîne un niveau moyen de 55 à 60 dB(A), des cris de bébé peuvent atteindre 100dB(A). Les appareils de télévision ou de musique vont de 75 à 90 dB(A), les équipements ménagers de 60 dB(A) pour une machine à laver à 80 dB(A) pour une essoreuse ou un robot ménager, les équipements sanitaires de 70 à 75 dB(A) pour une chasse d'eau ou le remplissage d'une baignoire.

Les bruits en provenance de l'extérieur sont essentiellement liés au trafic automobile (70 à 80dB(A) pour un trafic normal, jusqu'à 90 dB(A) pour des véhicules lourds ou utilitaires).

Localement, peuvent intervenir d'autres bruits : avions, trains, chantiers ou ateliers divers.

La transmission des bruits.

Les aériens.

Les bruits aériens sont produits par des sources sonores dont l'énergie acoustique, lors de son émission, est transmise uniquement à l'air qui l'entoure.

La transmission d'un bruit aérien d'un local à un autre, ou de l'extérieur à l'intérieur d'un bâtiment, peut se faire directement par voie aérienne lorsqu'il existe des ouvertures ou un défaut d'étanchéité à l'air.

Elle se fait plus généralement par la mise en vibration des différentes parois délimitant le local considéré.

Il y a donc transmission directe par la paroi séparative des deux locaux (ou extérieur/local) et indirecte par les parois adjacentes. Si l'isolement d'une paroi individuelle peut être mesuré, en laboratoire, en transmission directe, il est par contre beaucoup plus difficile d'apprécier l'importance des transmissions indirectes dans une construction réelle.

Elles peuvent représenter une énergie aussi importante que celle correspondant à la transmission directe.

Les principaux paramètres sont les masses relatives des différentes cloisons, les liaisons entre elles, ainsi que la présence de canalisations favorisant la propagation des sons.

L'indice d'affaiblissement acoustique (R) d'une paroi simple varie selon une loi expérimentale qui met en évidence l'influence logarithmique de la masse : le doublement de la masse se traduit par un gain de 6 dB pour l'indice d'affaiblissement. Par ailleurs, cet indice croît également avec la fréquence : les sons graves sont mieux transmis par une paroi que les sons aigus.

	Affaiblissement	
	R_{rose}	R_{route}
Mur en béton plein		
épaisseur 16 cm	57 dB(A)	53 dB(A)
épaisseur 20 cm	59 dB(A)	54 dB(A)
Blocs pleins enduits		
deux faces (épais. 20 cm)	59 dB(A)	54 dB(A)
Blocs creux enduits		
deux faces (épais. 20 cm)	52 dB(A)	48 dB(A)

Il faut enfin mentionner l'existence d'une fréquence critique pour laquelle toute paroi présente une chute sensible d'isolement.

Au-delà de cette fréquence, la pente de la courbe d'isolement croît plus vite que la loi de masse, ce qui permet de constituer des parois doubles présentant une bonne isolation en associant des matériaux appropriés et en veillant à ce que la fréquence de résonance se situe à une fréquence basse peu gênante. Cette fréquence doit être la plus voisine possible de la limite basse du spectre audible. Généralement, les cloisons à parois multiples usuelles utilisées entre logements ont une fréquence de résonance comprise entre 60 à 80 Hz.

Pour qu'une paroi double soit efficace, elle doit remplir plusieurs conditions :

- désolidarisation pour éliminer les transmissions parasites,
- parois dissemblables pour qu'elles n'aient pas la même fréquence critique,

- distance suffisante entre parois, car elle influe directement sur la fréquence de résonance,
- absorbant acoustique entre parois pour amortir les ondes stationnaires.

Les bruits d'impact.

Une paroi peut être mise en vibration directement par un choc, ou par les pas pour un plancher. Comme précédemment, la transmission ne se limite pas à la paroi directement sollicitée, mais se fait également par les parois adjacentes.

Lorsqu'on interpose entre la paroi et la source de choc un matériau élastique, on atténue le niveau d'énergie transmise dans les fréquences élevées. Le bruit est donc surtout perçu dans les fréquences basses, moins gênantes pour l'oreille, et est reconnu comme un bruit sourd.

Pour apprécier le comportement des parois soumises à un bruit de choc, on mesure l'affaiblissement acoustique de la paroi lorsqu'on lui applique un choc produit par une machine à chocs normalisée.

Les bruits produits par les équipements (chauffage, appareils sanitaires), sans être à proprement parler des bruits de chocs, peuvent cependant y être assimilés car ils agissent directement sur les parois auxquelles ils sont fixés, en leur transmettant les vibrations qu'ils produisent.

La paroi transmettra d'autant plus ce type de bruits qu'elle sera légère et rigide et que l'on n'aura pas désolidarisé efficacement les équipements ou les canalisations de la paroi sur laquelle ils sont fixés.

L'ISOLATION ACOUSTIQUE DES BATIMENTS.

Vis-à-vis des bruits extérieurs.

Bien qu'on ne soit pas toujours maître de l'implantation, la première protection d'un bâtiment contre les bruits extérieurs réside dans sa disposition et dans son architecture. Il sera toujours préférable d'orienter le bâtiment selon un axe parallèle à la direction de propagation du bruit : le pignon est toujours plus facile à protéger que les ouvertures en façade.

Des bâtiments bas sont plus faciles à protéger par des écrans, le sol jouant en plus un rôle absorbant.

Il ne faut pas oublier enfin que l'efficacité de l'affaiblissement acoustique apportée par une paroi peut être affectée de façon importante par les défauts d'étanchéité à l'air des ouvertures, par la présence de dispositifs d'entrée d'air mal conçus ou par des coffres de volets roulants non traités avec des matériaux absorbants.

L'emploi du béton en murs extérieurs permet toujours d'obtenir un résultat efficace en matière d'isolement puisque, quelle que soit la solution adoptée (béton banchée, blocs en béton pleins ou creux d'agrégats lourds ou légers), l'affaiblissement acoustique d'une paroi de 20 cm d'épaisseur varie entre 50 et 60 dB(A). Il faut néanmoins veiller à ce que les jonctions façade/refends, murs/planchers ou entre panneaux ne constituent pas de ponts phoniques et soient correctement calfeutrées ou doublées.

Vis-à-vis des bruits intérieurs.

Généralement, on ne se préoccupe que de l'isolation entre logements ou à l'égard des parties communes. L'isolation entre les pièces d'un même logement fait rarement l'objet d'un traitement particulier, bien qu'elle puisse constituer un élément de confort supplémentaire.

Pour les parois entre logements (murs et planchers), on considère la règle de la masse surfacique 350 kg/m^2 comme une base minimale pour une simple paroi. Ce résultat est obtenu avec le béton banché en 16 cm d'épaisseur ou avec des blocs creux en béton enduits de 25cm d'épaisseur. Des cloisons à parois multiples peuvent être également réalisées ; elles donnent généralement satisfaction, surtout dans les fréquences moyennes et aiguës (à partir de 500 Hz). Les transmissions indirectes sont néanmoins supérieures avec ce type de cloisons et la mise en œuvre doit être soignée, car l'étanchéité au pourtour est fondamentale.

L'apport d'un doublage utilisant la laine minérale sur une paroi présentant une insuffisance acoustique peut apporter une amélioration, sous réserve que les transmissions latérales ne soient pas prépondérantes et que les ponts phoniques dus à des fissures ou à la présence de canalisations aient fait l'objet d'un traitement.

Il ne faut pas négliger enfin l'influence des portes palières vis-à-vis des parties communes, ou des conduits de ventilation qui, lorsqu'ils sont mal conçus, peuvent faire perdre tout le bénéfice d'une isolation correcte d'une paroi.

Les planchers doivent apporter une protection efficace, à la fois contre les bruits aériens et contre les bruits d'impact. Pour la première condition, les règles appliquées aux murs restent valables, en particulier le seuil de 350 kg/m² pour la masse surfacique d'un plancher à dalle pleine, obtenu avec une épaisseur de 16 cm de béton.

Les planchers avec entrevous béton satisfont également aux exigences réglementaires, à condition de vérifier les valeurs d'affaiblissement global de l'ensemble du plancher, fournies par les producteurs, en fonction du type et de l'épaisseur des différents éléments (poutrelles, entrevous, dalles de compression).

Pour les bureaux, les hôtels, les écoles, les hôpitaux, des exigences plus sévères doivent faire l'objet d'une étude particulière en fonction des performances des systèmes.

En ce qui concerne les bruits d'impact, les planchers constitués de matériaux de module d'élasticité élevé nécessitent un revêtement qui apporte la correction souhaitable. Dans les pièces carrelées, on réalise généralement une dalle flottante avec interposition d'un matériau résilient, qui assure une désolidarisation avec le plancher et les autres parois et limite la transmission. La désolidarisation est également la règle pour les équipements et les canalisations : cales souples pour les appareils sanitaires, joints souples périphériques pour les baignoires adossées à une cloison, manchons à la traversée des parois par les tuyaux.

Les traitements intérieurs des pièces.

Les ondes sonores frappant une paroi se réfléchissent en cédant une partie plus ou moins importante d'énergie selon le degré d'absorption de la paroi. Selon les matériaux, l'absorption est plus ou moins marquée en fonction des gammes de fréquence. Les réflexions multiples, appelées réverbérations, sur les parois d'une pièce peuvent, en outre, être à l'origine d'un phénomène de persistance des sons (écho) qui nécessite un traitement particulier.

Pour les pièces d'habitation, le rôle absorbant est joué par les revêtements ainsi que par le mobilier. Dans certaines pièces d'habitation ou dans les bureaux où ce problème peut présenter une gêne, on est amené à prévoir des dispositions particulières apportant une correction acoustique, notamment par l'emploi de plafonds très absorbants (dits acoustiques).

Les locaux tels que les studios d'enregistrement ou les salles de spectacle nécessitent des études particulières pour obtenir une acoustique satisfaisante. Il faut faire appel à des matériaux spécifiques absorbants pour certaines parois (pièges à sons), réfléchissants à d'autres emplacements.

Les aspects réglementaires.

Des arrêtés, remis à jour périodiquement, fixent les isolements minimaux pour les bruits extérieurs et intérieurs pour les différentes catégories de locaux.

En ce qui concerne les logements, l'isolement demandé vis-à-vis des bruits extérieurs (spectre route) est d'au moins 30, 35, 40 ou 45 dB(A) selon les zones d'exposition.

Pour les bruits intérieurs, le degré d'isolement pour un bruit rose de 86 dB(A) est fixé à 51dB(A) dans les pièces principales et à 48 dB(A) dans les cuisines et les salles d'eau.

Le niveau de pression mesuré dans la pièce de réception, lorsque l'on produit des bruits d'impact avec la machine à chocs normalisée, ne doit pas excéder 70 dB(A).

Le label "confort acoustique" prévoit des niveaux d'isolement améliorés de 3 dB(A) à 8dB(A), par rapport aux seuils réglementaires, selon les pièces considérées. Les seuils fixés varient entre 51 et 59 dB(A).

Seuils de pression acoustique et degré d'isolement des logements

Règlementaires.

Nature de bruits	Niveau de réception Pression acoustique en dB(A)		Isolement normalisé Exigé en dB(A)	
	Pièce principale	Cuisine, bains, WC	Pièce principale	Cuisine, bains, WC
Bruits aériens (émission dans logement voisin : 86 dB(A))	35	38	51	48
Bruits d'impact (machine à chocs)	70	70		
Bruits d'équipements (lavabos, baignoires, WC)	35	38		

Label "confort acoustique".

Nature de bruits	Local d'émission (bruit rose)	Réception, niveau de pression acoustique dB(A)			Isolement exigé en dB(A)		
		Chambre	Séjour	S.d.B.	Chambre	Séjour	S.d.B.
Bruits aériens	(émission 86dB(A) dans log. Voisin)						
	chambre	32	29	35	54	57	51
	séjour	29	32	35	57	54	51
	S.d.B.	27	29	35	59	57	51
	(émission 76dB(A)) circulation commune	29	32	35	47	44	41
(émission 76dB(A)) séjour ou cuisine du même logement	35			41			
Bruits d'impact		67					
Equipements : Ascenceurs, Chaufferie, Baignoires, lavabos							
		32					
	30						