

ISOLATION ACOUSTIQUE ENTRE LOCAUX

NOTIONS PRÉLIMINAIRES

Bart Ingelaere, ir., chef du laboratoire
Acoustique, conseiller technologique (*)
(*) Guidance technologique "Acoustique du
bâtiment" subsidiée par les Régions.

Ce premier article théorique, qui ouvre la voie à une série d'articles consacrés à l'isolation aux bruits aériens entre locaux, explique les concepts acoustiques de base et les grandeurs qui y correspondent. Le lecteur s'apercevra rapidement que la transmission du bruit entre deux pièces attenantes n'est pas un phénomène aussi simple qu'il n'y paraît à première vue. Il trouvera également, au sein de ce numéro, un premier article pratique consacré aux planchers en bois séparant deux logements. Les prochains articles auront notamment pour objet l'isolation acoustique des murs mitoyens entre maisons accolées, des murs mitoyens et des planchers entre appartements.

1 INTRODUCTION

Les normes belges NBN S 01-400:1977 et NBN S 01-401:1987 en matière d'acoustique du bâtiment abordent la problématique des nuisances sonores dues au voisinage (qu'il s'agisse d'habitations, de bureaux, d'hôtels, etc.). Elles seront toutefois bientôt remplacées par de nouveaux documents qui, à l'instar de ceux émis chez nos voisins, recommanderont des performances plus sévères. Le but poursuivi sera d'ériger des bâtiments dont le confort vis-à-vis du bruit de voisinage soit plus proche du confort réellement perçu par les habitants.

Les résultats de l'étude actuellement menée au CSTC sur l'acoustique du bâtiment devront conduire à élaborer des directives de construction permettant de réaliser des bâtiments en phase avec les performances recommandées. En parallèle, on examine également le réalisme économique et technique d'éventuelles exigences performantielles.

Mais comment le bruit est-il généré dans le local de réception ? Nous l'expliquerons d'une manière quelque peu imagée dans ce chapitre, pour l'analyser plus scientifiquement par la suite.

Le son produit dans le local d'émission s'insinue dans le local de réception, où il est diffusé par les éléments structurels. On peut comparer ce phénomène à la propagation du son par des haut-parleurs dans un local de réception.

On pense généralement que les sons sont uniquement diffusés par les murs et les planchers mitoyens. Rien n'est moins vrai : toutes les parois qui délimitent le local de réception participent en effet à la diffusion du bruit. On peut d'ailleurs s'en rendre compte en plaçant l'oreille contre un mur. Si on ne perçoit, la plupart du temps, qu'un murmure, il n'en reste pas moins que ce mode de diffusion contribue au niveau sonore total du local de réception.

L'image suivante permettra sans doute d'explicitier le phénomène.

□ Chaque mètre carré des parois du local de réception peut être représenté par un petit haut-parleur. Les haut-parleurs de la paroi séparative renvoient un bruit intense, ceux des autres parois un bruit beaucoup plus faible.

□ Cependant, il y a nettement plus de surface de parois non séparatives et, donc, de haut-parleurs moins puissants. S'il est vrai qu'individuellement, ils génèrent une faible puissance, mis ensemble, ils sont susceptibles d'engendrer une

2 PRINCIPES DE BASE

Considérons deux locaux parallélépipédiques superposés : un local d'émission et un local de réception. L'ensemble de la construction, mise en œuvre selon des directives préétablies, doit être telle qu'une source sonore puissante dans le local d'émission soit le moins perceptible possible dans le local de réception. En d'autres termes, il s'agit de maximiser la *réduction du niveau de bruit* (c'est-à-dire la différence entre le niveau de bruit du local d'émission et celui du local de réception).

énergie telle que, comparés aux haut-parleurs de la paroi séparative, ils contribuent très largement (et parfois majoritairement, dans certaines constructions) à la transmission du bruit.

□ Si, dans une situation donnée, on améliore uniquement l'acoustique de la paroi séparative, on n'éteint pas les petits haut-parleurs des autres parois pour autant. Il faut trouver là la raison de l'échec apparent, ou du moins du résultat décevant de certaines opérations d'amélioration acoustique.

Il ressort de ce qui précède que toutes les parois diffusent des ondes sonores responsables d'un certain niveau de bruit à l'intérieur du local de réception. Néanmoins, le niveau sonore qui résulte de la diffusion du bruit dépend également des propriétés du local de réception et, en particulier, de ses dimensions et de son pouvoir absorbant.

Expliquons une fois encore le phénomène à l'aide d'une image. Considérons une source lumineuse – par exemple, une ampoule de 100 W – placée dans une pièce de 4 m x 4 m x 3 m. Si toutes les parois du local sont couvertes d'une peinture blanche, la luminosité sera intense. Par contre, si les murs, le plafond et le plancher sont peints en noir, le niveau lumineux résultant sera faible et on aura une impression d'obscurité. Indépendamment de la couleur des murs et du plafond, si on agrandit considérablement la taille de la pièce, la lumière devra se répartir sur un plus grand espace et il fera donc plus sombre.

Mais revenons au son : pour une même puissance sonore diffusée (par analogie avec l'ampoule de 100 W), le niveau de bruit obtenu sera d'autant plus faible (cf. le local peint en noir) que les matériaux d'absorption sont nombreux (par exemple, rideaux, tapis et autres matières d'ameublement à structure poreuse et perméable à l'air). Il en va de même si on augmente les dimensions de la pièce : à diffusion de bruit égale, la puissance sonore totale à l'intérieur du local diminue. Par analogie aux haut-parleurs, on peut déduire que, pour une même puissance sonore diffusée, le niveau de bruit du local sera inversement proportionnel à son volume.

Ces propos allégoriques devraient permettre de mieux appréhender la façon dont le niveau sonore est généré dans le local de réception. Sa réduction dépendra dans une large mesure :

- ◆ de la diffusion totale du bruit au travers de toutes les parois du local de réception (et pas seulement à travers la paroi séparative); ce point est analysé en détail aux §§ 2 et 3
- ◆ des caractéristiques du local de réception, en particulier de son volume et des matériaux absorbants présents (chapitre 4).

Le chapitre 5 examine plus avant les grandeurs destinées à caractériser l'isolation acoustique entre deux locaux ou à définir des exigences, afin de comprendre leur signification lorsqu'on les rencontre dans un cahier des charges, lors de la réception d'un ouvrage ou en cas de problème.

3 VOIES DE TRANSMISSION DU BRUIT ENTRE LOCAUX

Les explications livrées ci-avant ont permis de brosser à grands traits la transmission du bruit entre deux locaux.

Afin de considérer le phénomène sous un éclairage plus scientifique, il convient de se référer à la théorie fondamentale du son.

Les sons que nous percevons en un point de l'espace sont constitués d'une succession rapide de surpressions et de dépressions par rapport à la pression atmosphérique, qui font vibrer notre tympan. De même, sous l'impulsion d'ondes sonores incidentes ⁽¹⁾, les murs et le plancher du local où le son est émis se mettent à vibrer, créant dans les parois des ondes flexionnelles forcées dans le sillage des ondes sonores incidentes.

Ces ondes flexionnelles forcées ont un double effet :

- ◆ d'une part, elles transforment les particules d'air de l'autre côté de la paroi en ondes aériennes : les ondes incidentes continuent ainsi de suivre, quoique (très) affaiblies, leur sens de propagation initial; ce mécanisme est appelé *transmission directe du bruit*

⁽¹⁾ Les ondes incidentes envoient, par fronts successifs, des surpressions et des dépressions par rapport à la pression atmosphérique, qui se déplacent selon la projection (l'angle d'incidence du son) de la vitesse de l'air. Ces variations imposent à la paroi une déformation flexionnelle qui suit la projection de la vitesse de l'air c , c'est-à-dire qui se déplace à une vitesse au moins égale à la vitesse de l'air c (selon l'angle d'incidence). Le déplacement des particules est perpendiculaire au sens de propagation des ondes flexionnelles. Il s'agit donc d'ondes transversales, par opposition à la direction de propagation longitudinale du son dans l'air. Dans le cas d'un plancher (composante principale de la transmission directe du son), par exemple, la diffusion des ondes flexionnelles forcées dans le local de l'étage inférieur est dite efficace (degré de diffusion = 1), car les surpressions et les dépressions transmises se déplacent à nouveau à la vitesse de l'air.

- ◆ d'autre part, elles percutent les assemblages avec les autres parois, où l'excitation linéaire induit d'autres vibrations (plus faibles qu'à l'émission en raison de l'atténuation produite par les jonctions entre éléments de construction) et plus précisément des ondes flexionnelles libres, qui génèrent à leur tour une diffusion du bruit ⁽²⁾. Ce mécanisme est appelé *transmission latérale du bruit*.

Reprenons l'exemple des deux locaux parallélépipédiques superposés, délimités chacun par quatre murs se prolongeant dans les deux locaux. La transmission du bruit entre les locaux se fait par voie directe et par voie latérale.

La transmission directe "Dd" (flèche en gras à la figure 1) est bien connue et ne demande pas davantage d'explications.

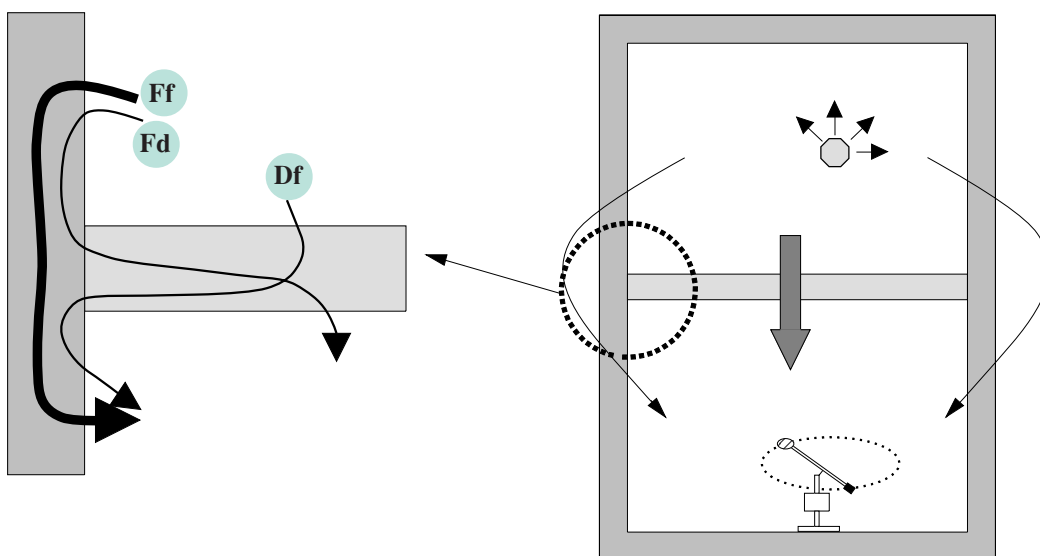
Pour la transmission latérale, il convient de se pencher sur les "points d'intersection" ou nœuds, c'est-à-dire les raccords de la paroi séparative avec chacune des parois latérales. Dans notre exemple, on compte quatre points d'intersection, pour chacun desquels on distin-

gue les voies de transmission latérale suivantes (voir la figure 1) :

- ◆ *voie Df* : le champ sonore du local d'émission fait vibrer la paroi séparative (ondes flexionnelles forcées). Ces vibrations sont transmises, de façon atténuée, à la paroi latérale du local de réception (ondes flexionnelles libres) qui diffuse le bruit de ce côté. La réduction du niveau sonore au cours de la transmission résulte de l'atténuation produite par la jonction des deux parois latérales
- ◆ *voie Fd* : le champ sonore du local d'émission fait vibrer le mur latéral. Ces vibrations sont transmises, de façon atténuée, à la paroi séparative qui rayonne le bruit du côté réception
- ◆ *voie Ff* : le champ sonore du local d'émission fait vibrer le mur latéral. Ces vibrations sont transmises, de façon atténuée, au mur latéral du local de réception qui y diffuse le bruit.

Comme nous l'avons signalé, deux locaux parallélépipédiques superposés comportent quatre points d'intersection, présentant chacun trois voies de transmission, ce qui représente au total treize voies de transmission (douze voies latérales et une voie directe).

Fig. 1 Voies de transmission latérales.



⁽²⁾ Les ondes flexionnelles libres, qui sont également des ondes transversales, sont produites par une excitation mécanique (par ex. percussion d'un panneau). Leur vitesse n'est pas toujours égale à celle de l'air, mais augmente en fonction de la fréquence. La grande différence du point de vue de la diffusion du bruit réside dans le fait que leur vitesse peut être inférieure à la vitesse de l'air en deçà d'une certaine fréquence. A cette fréquence, la diffusion sonore est théoriquement très faible («court-circuit» hydrodynamique : les fronts de surpressions et de dépressions créés instantanément sont compensés directement et donc éliminés). A une fréquence donnée (c'est-à-dire à la fréquence limite, qui dépend de la nature du matériau), la vitesse de l'onde flexionnelle libre sera exactement identique à la vitesse de l'air : une onde aérienne est générée du côté de la paroi à une vitesse de propagation telle que le front de surpressions est de plus en plus comprimé. Le phénomène est similaire pour le front de dépressions. En théorie, la diffusion devient extrêmement importante, en pratique, toutefois, elle est seulement accrue et décroît rapidement aux fréquences supérieures pour atteindre un niveau normal d'efficacité (degré de diffusion = 1).

Le concept populaire d'“isolation acoustique” recouvre donc une réalité plus complexe qu'on ne l'imagine généralement. Ainsi des listes de valeurs qui garantissent une certaine “isolation acoustique” aux structures mitoyennes *in situ* ne tiennent généralement compte que de l'isolation aux bruits directs.

4 EVALUATION DE LA TRANSMISSION SONORE

4.1 NOTION DE TRANSMISSION τ

La transmission directe et latérale du bruit entre deux locaux est le rapport entre la puissance sonore diffusée par chaque voie de transmission et le bruit incident sur une paroi séparative ⁽³⁾. Ce rapport (ou pourcentage), de valeur très réduite, est appelé transmission τ .

On a donc :

- ◆ la transmission directe du bruit τ_{Dd}
- ◆ une transmission latérale du bruit pour chaque point d'intersection τ_{Df} , τ_{Fd} , τ_{Ff} (soit, au total, douze voies de transmission latérales τ_{ij} pour les quatre points d'intersection).

Il s'agit de définir, par simple addition de toutes les transmissions (pourcentages partiels), quelle part de la puissance sonore incidente (sur la paroi séparative) représente la puissance sonore totale reçue (par le biais de toutes les voies de transmission). On peut ensuite calculer le niveau de bruit résultant à la réception.

Remarque : ces transmissions varient en fonction de la fréquence. La puissance sonore transmise est toujours plus élevée dans les basses que dans les hautes fréquences. Si l'on souhaite un grand degré de précision, il convient d'effectuer les calculs en termes spectraux.

4.2 EVALUATION DE LA TRANSMISSION DIRECTE

4.2.1 INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE R ET TRANSMISSION DIRECTE τ_{Dd}

La *transmission directe* τ_{Dd} du bruit à travers une paroi est une propriété liée aux matériaux et aux éléments de construction.

Traditionnellement, toutefois, un élément de construction est caractérisé par son *indice d'affaiblissement acoustique* R par bande de fréquences. Il s'agit d'une grandeur spectrale analysée en laboratoire (il existe donc une valeur R par bande de fréquences). La relation avec le coefficient de transmission τ_{Dd} est donnée par la formule suivante :

$$R = 10 \log (W_1/W_2) = -10 \log \tau_{Dd} \quad [1]$$

ou encore par :

$$\tau_{Dd} = 10^{(-R/10)} \quad [2]$$

Nous avons vu que la transmission directe (ou l'indice d'affaiblissement acoustique qui lui correspond) pouvait contribuer sensiblement à la réduction potentielle du niveau sonore dans les locaux. Mais ce n'est pas le seul facteur qui intervient. Dans les recommandations formulées par l'ancienne norme belge, par ailleurs toujours en vigueur, cette donnée revêtait une importance capitale. En revanche, la future norme, plus stricte, prendra également en compte la transmission par les voies latérales, désormais considérée comme essentielle.

4.2.2 INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE PONDÉRÉ R_w

Le calcul du spectre des indices d'affaiblissement acoustique R est la méthode la plus complète pour caractériser un produit ou un élément de construction, mais c'est aussi la plus compliquée (seize valeurs au moins par spectre). L'*indice d'affaiblissement acoustique pondéré* R_w , également appelé *indicateur à valeur unique*, constitue une voie plus simple. Son mode de détermination étant défini dans la norme EN ISO 717:1996, nous ne nous étendrons pas davantage sur le sujet.

La norme EN ISO 717-1:1996 prévoit l'adjonction de deux termes d'adaptation du spectre, de sorte qu'un élément de construction est caractérisé par $R_w(C;C_{tr})$ (p. ex. : $R_w(C;C_{tr}) = 44(-2;-7)$ dB). Ceci permet de caractériser sommairement (mais avec moins de précision) l'élément de construction par la somme $R_w + C_{tr}$ (dans l'exemple, $R_w + C_{tr} = 44 + (-7) = 37$ dB) pour une transmission sonore à basses fréquences et par la somme $R_w + C$ (dans l'exemple, $R_w + C = 44 + (-2) = 42$ dB) si la transmission n'est pas dominée par les basses fréquences. Divers articles parus précédemment dans ce magazine ont traité du sujet [2, 3, 4].

⁽³⁾ Cela peut paraître étrange, puisque l'élément séparatif intervient à peine dans certaines voies latérales, mais cela simplifie le modèle de calcul.

4.2.3 EVALUATION DE L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE R

Lorsqu'on mesure l'indice d'affaiblissement acoustique R, on évalue en fait également la transmission sonore directe.

En pratique, le spectre des indices d'affaiblissement R ne peut être mesuré qu'en laboratoire acoustique à l'aide d'une structure spéciale excluant toute possibilité de transmission latérale ⁽⁴⁾.

Les informations fournies dans la documentation technique des fabricants en ce qui concerne le spectre des indices d'affaiblissement acoustique R mesurés en laboratoire se limitent parfois à un indice d'affaiblissement acoustique pondéré (indicateur à valeur unique), c'est-à-dire à R_w ($C; C_{tr}$).

Il existe également des modèles prévisionnels applicables aux parois simples ou multiples.

4.3 EVALUATION DE LA TRANSMISSION LATÉRALE

4.3.1 INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE LATÉRAL R_{lj} ET TRANSMISSION LATÉRALE τ_{lj}

L'importance de la transmission τ_{lj} par une des douze voies latérales peut être évaluée à partir de l'indice d'affaiblissement acoustique R_{lj} pour la transmission latérale du bruit du mur I dans le local d'émission au mur j dans le local de réception. On a donc R_{Fd} , R_{Df} et R_{Ff} , et ce pour chacun des quatre points d'intersection.

Cette grandeur spectrale est exprimée par :

$$R_{lj} = -10 \log W_{lj}/W_1 = -10 \log \tau_{lj} \text{ [dB]} \quad [3]$$

$$\text{ou } \tau_{lj} = W_{lj}/W_1 \text{ [%]} \quad [4]$$

ou encore par :

$$\tau_{lj} = 10^{-(R_{lj}/10)} \quad [5]$$

Plus l'indice R_{lj} d'affaiblissement du bruit par les voies latérales est élevé, plus la transmission τ_{lj} par ces voies sera faible.

A l'instar de l'indice d'affaiblissement acoustique R par voie directe, il existe une valeur R_{lj} par bande de fréquences (seize valeurs par tiers d'octave de 100 à 3150 Hz). On peut donc parler de spectre d'indices d'affaiblissement du bruit latéral R_{lj} .

4.3.2 INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE LATÉRAL PONDÉRÉ $R_{lj,w}$

Tout comme pour l'indice R_w , les informations représentées par le spectre des indices d'affaiblissement du bruit latéral R_{lj} peuvent être regroupées dans un indicateur à valeur unique : l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_{lj,w}$.

4.3.3 EVALUATION DE L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE LATÉRAL R_{lj} ET DE LA TRANSMISSION LATÉRALE τ_{lj}

La valeur de R_{lj} peut également être évaluée correctement par mesurages (conformément à la norme EN ISO 12354-1:2000 et à la prénorme prEN ISO 10848-1), où les paramètres suivants jouent un rôle :

- ◆ l'indice d'affaiblissement acoustique R_l de la paroi latérale à l'émission et R_j à la réception ⁽⁵⁾; R_{lj} sera d'autant plus grand que l'indice est élevé
- ◆ la surface des parois latérales S_l du côté de l'émission (absorption du son) et S_j du côté réception (surface de diffusion), ainsi que la surface de la paroi séparative (mur ou plancher) S_s entre les deux locaux. Plus la paroi latérale du local d'émission est étendue, plus la puissance du bruit incident sera élevée. De même, la puissance diffusée à l'émission sera d'autant plus importante que la paroi latérale du local d'émission est éten-

⁽⁴⁾ La procédure de mesure est définie dans la norme EN ISO 140-3:1995. L'élément à tester est incorporé dans une structure spécialement élaborée pour le laboratoire, entre un local d'émission et un local de réception. Cette structure (qui doit être conforme à un certain nombre de normes EN ISO) est telle que, pour passer du local d'émission au local de réception, le son ne peut traverser que l'élément à tester. L'indice d'affaiblissement acoustique par bande de fréquences correspond alors à la différence entre les niveaux de pression sonore moyens, pour le tiers d'octave considéré, régnant à l'émission et à la réception, corrigée au moyen d'un terme tenant compte de la surface S de l'élément à tester et de l'absorption A du local de réception, soit : $R = L_{pm1} - L_{pm2} + 10 \log (S/A)$. On peut démontrer mathématiquement que, dans le cas d'une telle structure, cette formule de mesure peut être déduite de la définition théorique de l'indice d'affaiblissement acoustique donnée par la formule [1].

⁽⁵⁾ Cette simplification ne s'applique en fait qu'au-delà de la fréquence de coïncidence de la paroi. En deçà de cette fréquence, le résultat sera sous-estimé, car il ne s'agit pas d'une transmission forcée induite par des ondes flexionnelles forcées, mais bien d'une diffusion due aux ondes flexionnelles libres. Pour plus d'informations sur cette matière complexe, il y a lieu de consulter la littérature scientifique.

due. Etant donné qu'en matière de transmission, tout s'exprime en pourcentage par rapport à la puissance du bruit incident sur la paroi séparative S_s , la formule doit comporter un terme de correction qui dépendra de cette surface

- ◆ l'atténuation des vibrations à la jonction des deux parois. Plus cette atténuation est importante, plus R_{lj} sera élevé.

Tous ces développements dépassent largement le cadre du présent article. Nous conseillons au lecteur intéressé de se reporter aux ouvrages de *Beranek*, *Gerritsen* et *Vermeir*, ou à la norme EN ISO 12354-1:2000.

4.3.4 MODÈLE DE CALCUL PRÉVISIONNEL SIMPLIFIÉ AVEC INDICATEURS À VALEUR UNIQUE

La norme EN ISO 12354-1:2000 fournit des modèles de calcul simplifiés permettant d'évaluer la valeur de $R_{lj,w}$. Ces calculs prévisionnels font appel aux indicateurs à valeur unique.

Le modèle de calcul simplifié revêt ici un certain intérêt, en ce sens qu'il indique de quoi dépend l'indice d'affaiblissement acoustique par les voies latérales ou, inversement, la valeur de la transmission latérale.

Pour chaque point d'intersection, il est possible d'évaluer les trois indices pondérés d'affaiblissement acoustique $R_{Ff,w}$, $R_{Fd,w}$ et $R_{Df,w}$ de la manière suivante :

$$R_{lj,w} = \frac{R_{l,w} + R_{j,w}}{2} + K_{lj} + 10 \log \frac{S_s}{1m \cdot \ell} \quad [6]$$

où $I_j = Ff$, $I_j = Fd$ et $I_j = Df$ (voir figure 1).

Dans cette formule, on a :

$R_{lj,w}$ = l'indice d'affaiblissement acoustique de la voie latérale de la paroi I côté émission à la paroi j côté réception

$R_{l,w}$ = l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi latérale I côté émission; cette valeur se trouve également dans la documentation technique

$R_{j,w}$ = l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi latérale j côté réception, valeur également disponible dans la documentation technique

K_{lj} = l'indice d'affaiblissement des vibra-

tions⁽⁶⁾ à la jonction entre la paroi I côté émission et la paroi j côté réception

S_s = la surface de la paroi de séparation (mur ou plancher)

ℓ = la longueur du joint entre la paroi I et j
1m = 1 mètre.

Dans un calcul prévisionnel, la plupart des valeurs peuvent être remplacées par les données propres aux éléments de construction ou à leurs dimensions. Or, la valeur K_{lj} pose un problème, car les fabricants ne dispensent aucune information à son sujet.

L'annexe E de la norme EN ISO 12354-1:2000 abonde cependant en formules empiriques permettant d'évaluer K_{lj} . Ces formules diffèrent en fonction de :

- ◆ la nature de l'intersection (en forme de T, cruciforme, etc., voir la figure 2)
- ◆ la nature des parois délimitant les locaux (construction légère, lourde, mixte, ...).

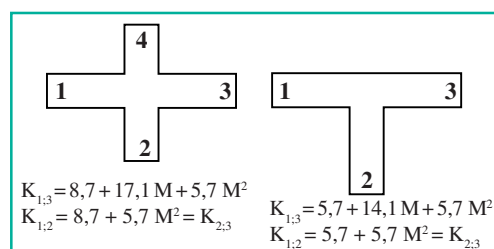


Fig. 2
Assemblage en croix et en T des parois simples.

Toute formule visant à évaluer K_{lj} est fonction de M. La valeur de K_{lj} augmente proportionnellement à celle de M :

$$M = \log \frac{m'_{\perp I}}{m'_I} = \log \frac{\text{masse surfacique paroi } \perp \text{ paroi latérale I côté émission, voie de transm. } I_j}{\text{masse surfacique paroi latérale I côté émission, voie de transmission } I_j} \quad [7].$$

Il est évident qu'une valeur élevée de K_{lj} augmente l'indice d'affaiblissement acoustique par les voies latérales $R_{lj,w}$.

Laissons à présent les formules mathématiques de côté pour nous pencher sur l'atténuation produite par les assemblages et sur la grandeur K_{lj} .

Soit deux locaux parallélépipédiques superposés dont les murs sont communs (considérons

⁽⁶⁾ La grandeur K_{lj} , que l'on a normalisé afin d'obtenir une valeur constante, est liée à la transmission de la puissance vibratoire par le joint entre les parois. Elle est déterminée en normalisant l'atténuation bidirectionnelle produite par les assemblages. La norme EN ISO 12354-1:2000 en fournit la formule détaillée. Cette grandeur est mesurée conformément à la prénorme prEN ISO 10848-1.

le schéma de la figure 1 comme une coupe transversale). La transmission latérale par les murs (voie Ff) nous suggère deux réflexions :

- ◆ d'une part, qu'un plancher beaucoup plus lourd (paroi perpendiculaire à la paroi latérale du local d'émission) aurait, au point de jonction, un effet d'atténuation considérable (valeur élevée de K_{ij}) sur la transmission des vibrations de la paroi latérale côté émission à la paroi latérale côté réception
- ◆ d'autre part, que des parois latérales lourdes dans les locaux d'émission et de réception pourraient difficilement entrer en vibration (l'une par le champ sonore à l'émission, l'autre par l'excitation vibratoire des ondes flexionnelles forcées à la jonction des deux parois). Les parois lourdes présentent donc un indice d'affaiblissement acoustique $R_{l,w}$ et $R_{j,w}$ élevé.

Application 1

Soit une structure en T comportant des murs et un plancher simples (figure 2). Pour éviter que "M" ait une valeur négative (et, donc, que la valeur de K_{ij} soit défavorable) pour les trois voies de transmission Ff, Fd et Df, la meilleure solution consiste à choisir des murs et des planchers de même masse surfacique. De cette manière, M sera toujours nul et K_{ij} affichera partout la même valeur positive (+ 5,7 dB selon les formules de calcul de la norme EN ISO 12354-1). Si, en outre, la masse surfacique est élevée (p. ex. : $m'' > 450 \text{ kg/m}^2$; autrement dit, si toutes les parois ont un indice d'affaiblissement acoustique global R_w élevé), la transmission par les voies latérales sera très réduite et l'isolation acoustique globale de relativement bonne facture.

Application 2

On trouvera une seconde application du modèle de calcul simplifié dans l'article consacré aux planchers en bois, plus loin dans ce numéro.

4.4 EVALUATION DE LA TRANSMISSION TOTALE

4.4.1 TRANSMISSION TOTALE τ'

La transmission totale τ' par tiers d'octave équivaut à la somme des transmissions τ_{ij} par les douze voies latérales et de la transmission

directe τ_{dd} . On a donc :

$$\tau' = 10^{(-R/10)} + \sum 10^{(-R_{ij}/10)} \quad [8].$$

Le résultat peut facilement être déterminé à l'aide d'un ordinateur ou d'une calculatrice.

La somme de tous ces pourcentages donne la puissance totale transmise W_2 par tiers d'octave dans le local d'émission, exprimée par une fraction de la puissance sonore W_1 incidente sur la paroi de séparation, soit :

$$\tau' = W_2/W_1 \quad [9].$$

Comme nous l'avons déjà précisé, ces fractions sont minimales lorsqu'on a à faire à des structures ordinaires. Dans le cas de structures séparatives entre logements conférant un minimum de confort acoustique, on arrive souvent à moins de 1/100.000 de la puissance du bruit incident sur la paroi de séparation.

Le concept d'*indice d'affaiblissement acoustique apparent* est formulé comme suit :

$$R' = -10 \log \tau' = 10 \log W_1/W_2 \text{ (')} \text{ [dB]} \quad [10].$$

L'indice d'affaiblissement acoustique apparent R' est une grandeur qui permet d'exprimer l'isolement acoustique entre deux locaux par un rapport de puissances logarithmique (voir § 6).

4.4.2 RÈGLES DE CALCUL COMBINANT L'ISOLATION ACOUSTIQUE DIRECTE ET LATÉRALE

S'il est vrai que les formules [8] et [10] peuvent être calculées par ordinateur, il peut cependant s'avérer pratique de réaliser une estimation rapide à partir de règles de calcul simplifiées combinant les indices d'affaiblissement acoustique.

On peut, par exemple, se demander quelle serait la valeur de l'indice d'affaiblissement acoustique combiné ($R_{\text{combiné}}$) de deux des treize voies de transmission entre deux locaux.

Soit :

X = l'indice d'affaiblissement acoustique correspondant à la première voie de transmission (directe ou latérale)

Y = l'indice d'affaiblissement acoustique correspondant à la seconde voie de transmission (directe ou latérale).

(⁷) Cette grandeur peut également être mesurée *in situ* et est définie par la formule $R' = L_{pm1} + L_{pm2} + 10 \log S/A$, autrement dit la même formule que celle qu'on utilise pour déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique en laboratoire. En laboratoire, le niveau de pression acoustique L_{pm2} du local de réception résulte uniquement de la transmission directe. Sur site, il résulte de la puissance transmise par les voies latérales et par la voie directe.

Solution

La somme des deux transmissions est égale à (voir la formule [2] ou [5]) :

$$10^{-(X/10)} + 10^{-(Y/10)}.$$

L'indice d'affaiblissement acoustique combiné des deux voies de transmission (d'après la formule [1] ou [4]) équivaut alors à :

$$R_{\text{combiné}} = -10 \log [10^{-(X/10)} + 10^{-(Y/10)}] \quad [11].$$

A partir de cette formule, on est en mesure de déduire, pour une même situation entre deux locaux, des règles empiriques permettant la combinaison (représentée par $\oplus$) des indices d'affaiblissement acoustique par voies latérales (ou de l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi de séparation) :

$$X \oplus X = X - 3 \text{ dB, si } X = Y \quad [12]$$

$$X \oplus (X + 10 \text{ dB}) = X \text{ dB} \quad [13]$$

Combinaison de dix indices d'affaiblissement acoustique identiques :

$$(X \oplus X \oplus \dots \oplus X) = X - 10 \text{ dB} \quad [14].$$

Exemple d'application

Supposons un isolement identique pour toutes les voies latérales (en pratique, ce n'est quasiment jamais le cas), soit X dB, où X est supérieur d'environ 10 dB à l'isolement direct (caractérisé par l'indice d'affaiblissement acoustique R de la paroi de séparation).

□ Une personne se trouvant dans le local de réception aura l'impression que le bruit provient de la paroi séparative (mur ou plancher) et – à moins de coller l'oreille sur la paroi même – ne percevra pas (ou pratiquement pas) le bruit provenant d'une paroi latérale.

□ Dans ce cas, l'isolement latéral total sera quasiment égal à l'isolement direct (en fait, il sera légèrement moindre; cf. règle empirique [14]). En d'autres termes, les voies latérales transmettront autant de bruit dans le local de réception que la voie directe. L'isolement global (caractérisé par R') sera alors inférieur de 3 dB (cf. règle empirique [12]) à l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi séparative.

□ Si l'on tente d'améliorer l'isolation de la paroi de séparation (mur ou plancher), par exemple en réalisant un doublage, on obtiendra effectivement un accroissement progressif de l'isolement, mais il ne dépassera jamais

l'isolement latéral total (cf. règle empirique [13]); ceci n'a rien d'étonnant, puisqu'aucune mesure n'a été prise pour contrer la transmission totale par les voies latérales.

Dans l'exemple, on a supposé que l'isolement était le même pour toutes les voies latérales (et supérieur de 10 dB à l'isolement direct). Or, cette situation ne se rencontre quasiment jamais en pratique. L'isolement latéral peut même être franchement plus faible que dans l'exemple, de sorte que la transmission directe devient prédominante.

5 RÉDUCTION TOTALE DU NIVEAU DE BRUIT

Avant de calculer la réduction totale du niveau de bruit entre les deux locaux – ce qui est

notre objectif ultime –, il convient de définir et d'expliquer quelques notions.

□ Absorption

Le niveau total de bruit transmis dans le local de réception possède une certaine puissance (comme précisé plus haut). Au chapitre 2, nous avons vu que le niveau de bruit résultant de cette transmission dans le local de réception dépend non seulement de la puissance sonore, mais également du volume et du degré d'absorption acoustique des parois.

Lorsqu'un bruit vient frapper une paroi, celle-ci ne réfléchit pas la totalité du bruit incident, mais en absorbe une partie.

Le *coefficient d'absorption* α est le rapport entre la puissance sonore «perdue» (absorbée) et la puissance sonore incidente. Cette grandeur sans dimension est nulle dans le cas (purement spéculatif) d'une paroi parfaitement réfléchissante et est égale à l'unité (dans certaines limites) si l'onde sonore passe par une fenêtre ouverte (aucune puissance sonore n'étant réfléchie dans ce cas).

Il s'agit d'une grandeur spectrale, car elle dépend de la fréquence.

Le concept d'*aire d'absorption totale équivalente* A [m^2] par tiers d'octave se définit à l'aide de la formule suivante :

$$A = \sum_i \alpha_i S_i \quad [\text{m}^2] \quad [15].$$

□ Temps de réverbération

Lorsqu'on produit, dans un local, un champ sonore constant caractérisé par un bruit puissant d'une énergie suffisante sur l'ensemble du spectre et que ce signal est interrompu brutalement, le temps de réverbération T est le temps nécessaire pour que le bruit diminue de 60 dB à une fréquence donnée.

Sabine a montré que le temps de réverbération augmente proportionnellement au volume du local, mais diminue en fonction de la quantité de matériaux absorbants. On a donc la formule suivante :

$$T = 0,16 V/A \text{ [s]} \quad [16].$$

Forts de ces définitions et relations, et en admettant en outre que la puissance sonore totale transmise au local de réception soit égale à la puissance totale absorbée par ce même local, on peut démontrer mathématiquement que la réduction du niveau de bruit équivaut à :

$$R' - 10 \log (S_s/A) \text{ [dB]} \text{ (par tiers d'octave)} \quad [17]$$

où S_s est la surface de la paroi de séparation.

En combinant les formules [16] et [17], on obtient la réduction du niveau sonore à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{réduction de niveau} = R' + 10 \log (0,16 V/S_s T).$$

S'agissant d'un calcul prévisionnel, on part du principe que, compte tenu de l'espace disponible dans un intérieur belge classique, l'ameublement est tel que le temps de réverbération atteint environ 0,5 seconde.

6 ISOLATION ACOUSTIQUE ENTRE LOCAUX DE LOGEMENTS DISTINCTS

Comme nous l'avons déjà souligné plus haut, le concept d'isolation acoustique revêt de nombreuses facettes. Pour le profane, l'isolation acoustique entre deux locaux équivaut à l'écart entre le niveau de bruit émis et le niveau perçu dans le local de réception. En pratique, toutefois, ce paramètre est appelé *réduction du niveau de bruit*.

Nous savons déjà que la réduction du niveau de bruit dépend, entre autres, de l'ameublement du local. C'est la raison pour laquelle on a élaboré des grandeurs mesurables et indépendantes de ce paramètre, qui peuvent être utilisées pour énoncer des exigences performantielles dans les cahiers des charges, les normes ou les textes légaux.

Pour ce faire, on procède comme suit :

- ◆ on caractérise le degré de réverbération sonore du local (temps de réverbération/absorption)
- ◆ on corrige la mesure de la réduction du niveau de bruit en se basant sur un temps de réverbération de référence ou sur une aire d'absorption de référence (grandeurs D_{nT} et D_n , voir ci-dessous).

La première grandeur est l'*isolement acoustique standardisé* :

$$D_{nT} = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log (T/T_o)$$

où T_o vaut 0,5 s.

Dans ce cas, la réduction du niveau de bruit est ramenée à la valeur que l'on mesurerait si, par suite d'une adaptation de l'ameublement, on réduisait le temps de réverbération du local de réception à 0,5 s.

La seconde grandeur est l'*isolement acoustique normalisé* :

$$D_n = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log (A_o/A)$$

où A_o est égal à 10 m².

Dans ce cas, la réduction du niveau de bruit est ramenée à la valeur que l'on mesurerait si, par suite d'une adaptation de l'ameublement, on réduisait la surface d'absorption équivalente du local de réception à 10 m².

Pour obtenir l'indicateur à valeur unique de ces grandeurs, on ajoute chaque fois l'indice "w" : $R'_w, D_{n,w}, D_{nT,w}$.

Si l'on veut faire l'impasse sur la normalisation et la standardisation de la réduction du niveau sonore, on aura recours à la grandeur R' , qui, en tant que rapport de puissances, est indépendante de l'ameublement et du volume du local.

Rappelons que l'indice d'affaiblissement acoustique apparent R' est le rapport logarithmique entre la puissance totale diffusée dans le local de réception et la puissance incidente sur la paroi de séparation du côté de l'émission.

Il ne s'agit donc pas d'une réduction de niveau corrigée en fonction d'un ameublement standard caractérisé par une absorption A_o .

Ce rapport de puissances logarithmique est néanmoins obtenu en mesurant la réduction de niveau et la durée de réverbération (d'où découle l'absorption A du local). On peut dé-

montrer mathématiquement que la formule de mesure présentée dans la note ⁽⁷⁾ équivaut à la définition de R' , si ce n'est que l'influence de l'absorption y est éliminée.

Chacune des grandeurs a ses avantages et ses inconvénients.

La norme belge NBN S 01-400:1977, toujours en vigueur, utilise la grandeur D_n comme indicateur à valeur unique pour la catégorie. Or, cette grandeur n'est pratiquement plus appliquée dans les autres pays, car elle donne lieu à une évaluation plus sévère de la situation lorsqu'on mesure l'isolation entre de grands volumes ($> 33 \text{ m}^3$).

La norme précitée étant vouée à une révision prochaine, nous ne nous y attarderons pas davantage. Le texte qui la remplacera utilisera la grandeur D_{nT} , et plus précisément son indicateur à valeur unique $D_{nT,w}$ pour formuler des performances recommandées.

On ignore encore à quel niveau la barre sera placée en ce qui concerne les performances recommandées pour l'isolement $D_{nT,w}$ entre logements. Toujours est-il que l'on tiendra compte des résultats d'études psycho-acoustiques qui montrent statistiquement que 30 % des habitants considèrent comme insatisfaisant un isolement $D_{nT,w}$ de 54 dB. Le nombre de

mécontents passerait à 10 % pour un isolement $D_{nT,w}$ de 59 dB, une valeur qui s'avère cependant difficile à atteindre. En dépit de l'inconfort touchant un cercle non négligeable de personnes, il ne sera pas évident d'intégrer de telles recommandations dans la norme.

CONCLUSION

Si, dans le cas d'une maçonnerie traditionnelle, l'on souhaite un isolement aux bruits aériens supérieur à 52 dB entre deux locaux, il convient de tenir compte de la transmission latérale du bruit. Alors que, par le passé, l'application de la norme belge ne débouchait généralement pas sur des exigences plus sévères, force est de reconnaître qu'il en sera autrement dans les futures recommandations de performances. Par conséquent, une connaissance de base de la transmission du bruit par les voies latérales sera capitale, même si cette matière apparaît difficile à assimiler. ■

L'auteur tient à remercier le ministère des Affaires économiques et les Régions pour le soutien qu'ils ont apporté respectivement à la recherche et à la Guidance technologique *Acoustique du bâtiment*, sans lequel la rédaction du présent article n'eût pas été possible.

BIBLIOGRAPHIE

- 1** Comité européen de normalisation
EN 12354-1:2000 Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1 : Airborne sound isolation between rooms. Bruxelles, CEN, 2000.
- 2** Ingelaere B.
Isolation acoustique des fenêtres. Application de la norme EN ISO 717-1:1996. 1^{ère} partie : performances acoustiques du vitrage. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 1998.
- 3** Soubrier D.
La normalisation européenne en acoustique du bâtiment (1). Evaluation de l'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impact. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 1999.
- 4** Soubrier D.
La normalisation européenne en acoustique du bâtiment (2). Bruxelles, CSTC-Magazine, été 1999.