

ISOLATION ACOUSTIQUE OPTIMALE ENTRE MAISONS MITOYENNES

Bart Ingelaere, ir., chef du laboratoire Acoustique, conseiller technologique*, CSTC

Gerrit Vermeir, prof. dr. ir., KU Leuven

Collaboration :

Marcelo Blasco, ir.-arch., chef de projet, conseiller technologique*, CSTC

Charlotte Crispin, lic., chercheur, CSTC

Manuel Van Damme, ing., chercheur, CSTC

* Guidance technologique Acoustique du bâtiment subsidiée par les Régions.

Les recommandations de la norme belge relatives à l'isolement acoustique devrait être adaptées sous peu dans le but de se rapprocher du confort réellement perçu par les habitants. Nul ne sait encore à quelle hauteur les autorités compétentes vont placer la barre. Une étude psychoacoustique a révélé l'existence d'une relation entre le confort éprouvé (pourcentage de sujets mécontents de l'isolement acoustique) et les grandeurs destinées à caractériser l'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ et aux bruits d'impact $L_{nT,w}$ sur site (cf. article précédent) [6]. Dans l'article qui suit, nous nous penchons sur les directives de construction qu'il convient d'adopter pour assurer un isolement acoustique horizontal très élevé entre maisons mitoyennes (dans un prochain article, nous aborderons l'isolation acoustique des appartements). Nous tentons ensuite d'expliquer la raison d'être de ces directives sur le plan acoustique et examinons ce qu'il advient des constructions non conformes aux règles énoncées. Pour obtenir de bons résultats dans la pratique, il y a lieu d'appliquer ces directives à la lettre. Certains défauts de conception et/ou d'exécution en apparence insignifiants sont en effet susceptibles d'influencer considérablement l'isolement acoustique, et ce d'autant plus que le niveau d'isolation souhaité est élevé.

1 DIRECTIVES DE CONSTRUCTION

1.1 LE MODÈLE IDÉAL

Idéalement, deux maisons mitoyennes devraient être construites comme s'il s'agissait de maisons distinctes, parfaitement indépendantes l'une de l'autre aussi bien sur le plan de la stabilité que sur celui de la séparation, de telle sorte qu'elles ne présentent aucun point de contact. En d'autres termes, leur construction nécessite l'aménagement d'un joint continu de 5 cm de large, de la naissance des fondations à la toiture. Pour autant qu'un certain nombre de conditions soient remplies, il est possible d'atteindre des valeurs très élevées d'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impact, à savoir : $D_{nT,w} > 60$ dB et $L_{nT,w} < 47$ dB.

1.2 LE MUR CREUX SANS ANCRAGE

Dans la pratique, ne pas construire le mur mitoyen sur les mêmes fondations est difficile ou trop coûteux. Cependant, il est possible de réaliser une excellente isolation acoustique au départ de fondations communes, à condition de

respecter un certain nombre de prescriptions. Les murs mitoyens de ce type portent le nom de *murs creux sans ancrage*.

Nous livrons ci-après les directives de construction en la matière, puis expliquons leur raison d'être et commentons les résultats de diverses mesures. Déroger par nécessité aux dispositions de l'une de ces directives n'est pas sans conséquence, comme ne manqueront pas d'en convaincre les explications fournies à ce sujet.

1) FONDATIONS

En général, les maisons mitoyennes sont bâties (par nécessité) sur des fondations communes "profondes" : la distance minimale entre le sol du premier étage habité et le niveau supérieur des fondations s'élève à 50 cm (cf. § 2.2.2).

2) MUR MITOYEN

On procède ensuite à l'érection du mur mitoyen : celui-ci se compose de parois lourdes (b) séparées par un vide intercalaire ou creux (a) sur toute leur superficie (c).

a) Le creux du mur a de préférence une largeur

Tableau 1 Masse surfacique.

Si la réalisation est impeccable, on atteindra vraisemblablement une valeur $D_{nT,w}$ supérieure à	Masse surfacique minimale cumulée des deux parois	Masse surfacique de chacune des parois
54 dB (= 30 % de mécontents)	400 kg/m ²	200 kg/m ²
59 dB (= 10 % de mécontents)	500 kg/m ²	250 kg/m ²

de 5 cm au moins. Seul le recours aux parois lourdes (béton coulé, blocs de béton pleins) autorise l'aménagement d'un creux d'une largeur moindre, néanmoins supérieure à 3 cm.

b) Sur le plan acoustique, le choix du matériau constitutif des deux parois dépend de leur masse par m² (masse surfacique).

En pratique, il est possible d'obtenir un isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ de 54 dB en réalisant un mur creux sans ancrage de masse surfacique moins importante. Néanmoins, les raisons pour lesquelles on recommande une masse surfacique supérieure sont au nombre de deux :

- ◆ au cas où les travaux ne seraient pas exempts d'erreurs d'exécution (présence de petits ponts structurels), le résultat final serait inacceptable s'agissant de parois plus légères
- ◆ l'érection de parois de masse surfacique inférieure à 200 kg/m² environ favorise le transfert latéral vertical du bruit au sein d'une même habitation. Résultat : l'isolement acoustique entre locaux superposés est insuffisant (cf. § 2.3).

Par mesure de sécurité, il est préférable de s'en tenir à une masse surfacique cumulée de 400 kg/m² au minimum pour les deux parois.

c) Les deux parois doivent être parfaitement séparées. En d'autres termes, elles ne peuvent être reliées par aucun dispositif tel que crochet d'ancrage, plancher continu, débris de mortier, etc. Concrètement, cela revient à exécuter la procédure suivante :

- ◆ maçonner d'abord la première paroi (en partie)
- ◆ la garnir de laine minérale à haute densité (rien ne s'oppose au remplissage complet du creux) ou de mousse synthétique (seul est autorisé le remplissage partiel; il convient de ménager un vide d'air d'une épaisseur de 2 cm min.). Objectif : séparer entièrement la première paroi de la seconde, de telle sorte que les débris éventuels de mortier et de maçonnerie ainsi que le béton de la couche de compression (cf. point 3), etc. ne forment pas de ponts structurels avec la seconde paroi
- ◆ ériger ensuite la seconde paroi.

Plus les locaux (étage supérieur si le raccord au toit est soigné) sont éloignés des zones de contact périphériques, meilleur sera l'isolement acoustique. Il est conseillé, dans tous les cas, de plâtrer la face intérieure des parois pour prévenir le risque de fuites acoustiques par les joints verticaux et/ou en raison d'une porosité excessive des parois.

3) PLANCHERS PORTEURS

Les planchers porteurs reposent sur les parois du mur creux sans ancrage et servent eux-mêmes de support aux pans de mur supérieurs (figure 1). Des conditions d'appui différentes peuvent donner lieu à une diminution de l'isolement acoustique (cf. § 2). Au rez-de-chaussée, la réalisation des objectifs retenus en matière d'isolation peut s'avérer difficile.

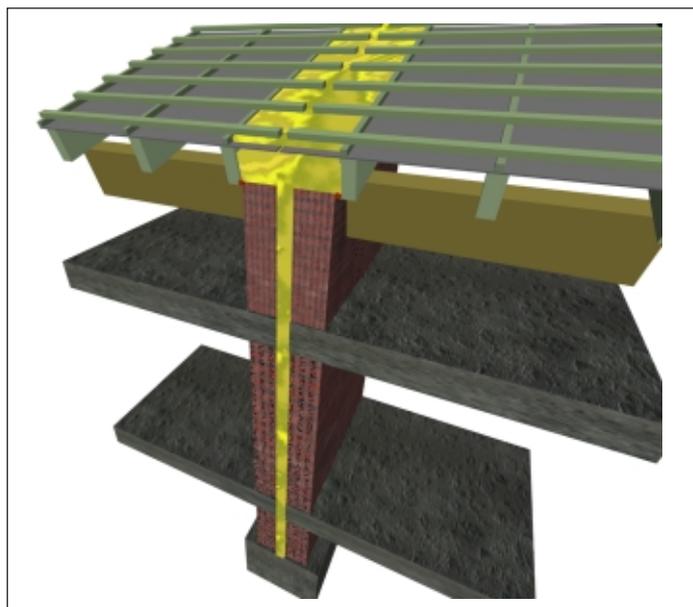


Fig. 1 Réalisation séparée des murs et des planchers porteurs.

Il faut faire preuve de la plus grande prudence lors de la réalisation des planchers, pour qu'aucun débris de béton ne tombe dans le creux du mur (qu'il convient de protéger par la pose d'un matériau d'isolation). En aucun cas, les dalles de plancher ne doivent se prolonger d'une maison mitoyenne à l'autre.

4) MUR DE FAÇADE

La paroi intérieure du mur de façade ne peut s'étendre sans disjonction aux deux maisons mitoyennes. Il est également recommandé d'interrompre le parement de la façade au droit du joint présent dans le mur creux sans ancrage.

5) JONCTION AVEC LES MURS DE REFEND

Si la construction du mur creux sans ancrage est irréprochable, la jonction avec les murs de refend ne doit normalement répondre à aucune exigence particulière. En effet, aucune transmission latérale du bruit n'est possible entre les deux maisons, si ce n'est dans les zones d'extrémité (fondations/toiture). Toutefois, il est

conseillé de prendre quelques précautions, au cas où la disjonction des deux murs serait imparfaite. Il est préférable de s'abstenir de toute jonction rigide entre le mur mitoyen sans ancrage et des parois légères résistant à la flexion (maçonnerie en briques légères, parois en blocs de plâtre ou en béton cellulaire) et présentant une masse surfacique inférieure à 150 kg/m^2 : il est recommandé de ménager un joint que l'on comblera de mousse de polyuréthane et que l'on fermera à l'aide de mastic élastique.

Cette mesure s'impose si l'on souhaite atteindre les performances acoustiques les plus élevées ($D_{nT,w} \geq 59 \text{ dB}$) et/ou si des éléments susceptibles d'entrer en vibration (conduites, canalisations, escaliers, etc.) sont solidaires de l'une des parois légères et rigides.

6) FIXATION AU MUR MITOYEN

Dans la mesure du possible, il faut s'abstenir de fixer au mur mitoyen un escalier ou tout autre dispositif susceptible de vibrer, tel que conduites, canalisations, installations sanitaires, etc. (en particulier si le mur mitoyen est à paroi simple). Cette recommandation vise essentiellement à prévenir d'éventuels problèmes, dans l'hypothèse où l'exécution du mur creux sans ancrage laisserait à désirer.

7) RACCORD DE LA TOITURE À L'APLOMB DU MUR CREUX SANS ANCRAGE

Ici encore, il serait souhaitable de ne pas interrompre le joint du mur mitoyen. Néanmoins, il faut impérativement garantir l'étanchéité à l'eau de l'immeuble. Nous faisons la distinction entre différents cas de figure, en fonction de la structure du toit.

a) Toit plat lourd (hourdis, dalle en béton)

Les directives relatives aux dalles de plancher s'appliquent également à ce type de toiture. La structure portante est interrompue au droit du creux du mur. Rien ne s'oppose à ce que l'isolation thermique du plancher porteur et le revêtement d'étanchéité s'étendent sans disjonction aux deux maisons mitoyennes. En cas d'utilisation de panneaux d'isolation thermique rigides, il est possible d'améliorer encore l'isolation acoustique en prolongeant localement le joint du mur creux sans ancrage et en comblant le vide intercalaire avec de la laine minérale.

Une alternative consiste à prolonger quelque peu le mur creux sans ancrage. Toutefois, il faut être attentif à l'apparition éventuelle de ponts thermiques. Le couronnement du mur doit être

réalisé à l'aide d'un matériau d'étanchéité léger (appliqué si possible sur un matériau antivibratile, tel que la laine minérale p.ex.).

b) Toit plat léger

b1. Partons de l'hypothèse d'une *toiture plate scindée en deux parties* en raison d'une surélévation du mur mitoyen. A l'heure actuelle, nous ne disposons d'aucun résultat de mesure se rapportant à ce cas de figure.

Le mur creux sans ancrage dépasse de 30 cm au moins le revêtement d'étanchéité de la toiture. Au-dessus des deux parois du mur creux, on applique un matériau d'étanchéité léger posé sur un produit antivibratile (p. ex. élément en aluminium/étanchéité de toiture, mais en aucun cas de matériau pierreux ou en béton). Lors de l'exécution des finitions, on veillera à prévenir l'apparition de ponts thermiques.

A l'intérieur, la finition est réalisée à l'aide de plaques de plâtre cartonné (de $1 \times 12,5 \text{ mm}$ minimum) que l'on fixe tantôt sur des profilés métalliques légers conçus à cette fin et s'étendant d'un mur à l'autre, tantôt sur les lambourdes (solution moins efficace).

Ces dernières doivent être revêtues de panneaux solides (et non de voliges) que l'on s'efforcera de poser conjointement les uns par rapport aux autres mais aussi par rapport aux parois du mur creux sans ancrage (le cas échéant, on peut envisager la pose, contre chaque paroi, d'une poutre dont on veillera à colmater le joint interstitiel). Ce type de construction favorise de surcroît l'amortissement des bruits extérieurs.

b2. Toit plat continu

Si le sens de portée l'exige, il convient d'encasturer les lambourdes dans le mur en restreignant leur envergure à une seule habitation. Afin de prévenir l'apparition de ponts thermiques, le mur creux sans ancrage s'interrompt au droit des panneaux de toiture et du creux du mur. Il y a lieu de combler soigneusement le vide ménagé entre les panneaux de toiture et le mur maçonné à l'aide de laine minérale. A l'intérieur, la finition est réalisée à l'aide de plaques de plâtre cartonné (de $1 \times 12,5 \text{ mm}$ minimum) que l'on fixe tantôt sur des profilés métalliques légers conçus à cette fin et s'étendant d'un mur à l'autre, tantôt sur les lambourdes (solution moins efficace). A l'heure actuelle, nous ne disposons, une fois encore, d'aucun résultat de mesure à ce sujet, mais il est peu probable que l'isolement aux bruits aériens ($D_{nT,w} = 59 \text{ dB}$ au moins) soit très élevé dans les pièces situées sous le toit. Le problème ne concerne pas tant la transmission latérale du bruit par les jonctions structurelles entre les deux parois que le bruit "dérivé" (une forme de fuite acoustique), lequel se diffuse par le biais de l'espace entre les panneaux de toiture et les finitions

intérieures, en se propageant entre autres à travers l'isolation thermique située entre les panneaux de toiture et le mur creux (toutefois, il est possible d'améliorer la situation par la pose de panneaux).

Si l'orientation des lambourdes est parallèle à celle du mur, il est possible d'obtenir un isolement acoustique plus élevé. En effet, on peut poser les lambourdes contre le mur et colmater le joint résiduel au mastic pour endiguer au maximum le bruit "dérivé".

c) Toitures à versants traditionnelles

Les chevrons sont encastrés dans le mur sans ancrage, mais ne peuvent évidemment pas déborder sur le joint du mur. Il faut veiller à une bonne étanchéité aux fuites acoustiques.

Un chevron est posé le long du bord supérieur du mur creux sans ancrage dans chacune des habitations. Il y a lieu de colmater soigneusement le joint résiduel (le plus restreint possible) entre ce chevron et le mur creux sans ancrage (au moyen de mastic ou de silicone si le joint a moins de 8 mm de large). Il convient d'appliquer une couche de laine minérale entre ces chevrons (et au-dessus du mur creux sans ancrage), afin de prévenir la formation d'un pont thermique.

Tout comme les liteaux, la sous-toiture posée au-dessus des chevrons doit s'interrompre au droit du joint situé dans le mur creux sans ancrage. Il est conseillé d'appliquer un mat de laine minérale, d'une part, entre les liteaux sur une longueur de plus d'un mètre et, d'autre part, en chevauchement sur le mur creux sans ancrage. La pose de ce matériau d'isolation est impérative si la sous-toiture est constituée par des panneaux d'une masse surfacique inférieure à 4 kg/m².

La finition intérieure est réalisée à l'aide de plaques de plâtre cartonné (min. 1 x 12,5 mm) que l'on fixe tantôt sur des profilés métalliques légers conçus à cette fin et s'étendant d'un mur à l'autre, tantôt sur les pannes (solution moins efficace).

En ce qui concerne le transfert longitudinal du bruit, la seule voie possible est la suivante (flèche bleue à la figure 2) : à travers les plaques de plâtre cartonné de la chambre 1 → l'espace rempli de laine minérale → les panneaux de sous-toiture de la chambre 1 → soit l'espace entre les tuiles et la sous-toiture (d'où la pose d'une bande de laine minérale), soit sous forme de bruit "dérivé" par le biais des tuiles → la sous-toiture de la chambre 2 → le creux (rempli de laine minérale) de la chambre 2 → les plaques de plâtre cartonné de la chambre 2.

Si ces travaux sont conformes aux règles de l'art, la probabilité d'atteindre, même au dernier étage, les plus hautes valeurs d'isolement aux bruits aériens ($D_{nT,w} > 59$ dB) est relativement élevée.

Pour accroître la probabilité d'obtenir l'isolement le plus élevé aux bruits aériens dans la pièce située sous le toit, on peut envisager une double finition sous les pannes. On procédera d'abord à un premier enduisage ou à la pose de plaques de plâtre cartonné immédiatement sous les chevrons, puis on posera un second plafond indépendant en plaques de plâtre cartonné fixées sur des profilés métalliques légers s'étendant d'un mur à l'autre. Entre ces deux finitions, il convient d'obturer à la laine minérale l'espace intercalaire dont la largeur minimale devrait être égale ou supérieure à 7 cm. Il va sans dire que l'adoption de telles solutions n'est pas sans impact sur les frais de construction, mais elles présentent l'avantage d'offrir un isolement remarquable aux bruits extérieurs.

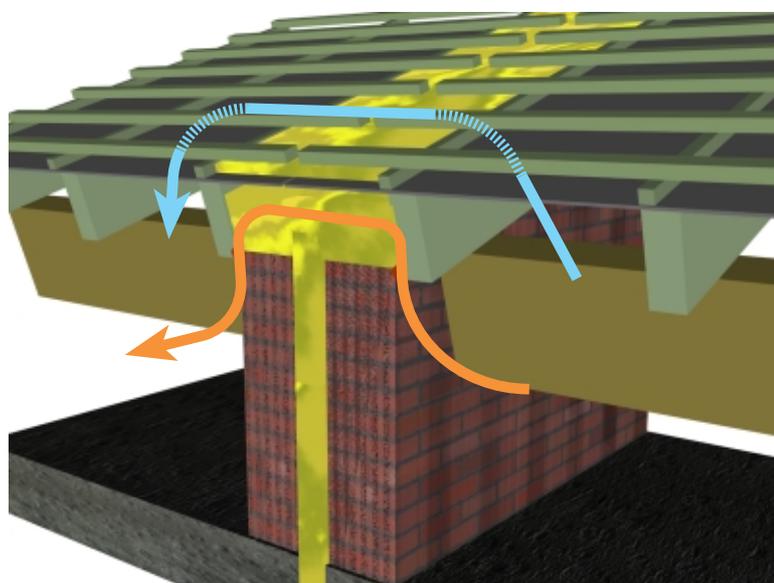


Fig. 2 Détail de la jonction avec une toiture à versants : chevrons posés contre les parois du mur mitoyen, colmatage des points de fuite acoustique. Si des vides subsistent entre les panneaux de sous-toiture et les parois du mur mitoyen, il convient d'appliquer de la laine minérale entre les deux chevrons. Cette mesure devrait prévenir, le cas échéant, la propagation du bruit "dérivé" (flèche rouge).

d) Toitures à fermettes métalliques

On peut appliquer à ce type de toiture le même raisonnement que celui développé ci-avant pour les toitures à versants traditionnelles.

e) Toitures constituées de panneaux sandwich

Les panneaux de toiture ne peuvent reposer sur le mur creux sans ancrage, mais doivent être placés au ras des deux parois du mur mitoyen, de telle sorte qu'il ne subsiste qu'un joint à peine perceptible que l'on colmatera avec le plus grand soin.

Le mur creux sans ancrage est interrompu juste sous les panneaux de toiture. L'espace résiduel est rempli de laine minérale, afin de prévenir la formation d'un pont thermique. Les liteaux et les panneaux de toiture doivent s'interrompre à la hauteur du joint du mur sans ancrage.

La finition intérieure est réalisée en plaques de plâtre cartonné (min. 1 x 12,5 mm) que l'on fixe tantôt sur des profilés métalliques légers conçus à cette fin et s'étendant d'un mur à l'autre, tantôt sur les pannes (solution moins efficace).

Dans ce type de construction, il est fort peu probable que l'on atteigne des valeurs $D_{nT,w}$ de 59 dB dans les pièces situées sous le toit. Le cas échéant, on tentera d'améliorer l'isolation aux bruits aériens par une finition supplémentaire en sous-face tel que proposé au point c).

Cela étant, il n'est pas exclu que le niveau d'isolation soit plus élevé que prévu à mesure que l'on s'éloigne des extrémités du bâtiment (fondations et raccords à la toiture). Habituellement, l'isolement aux bruits aériens entre maisons

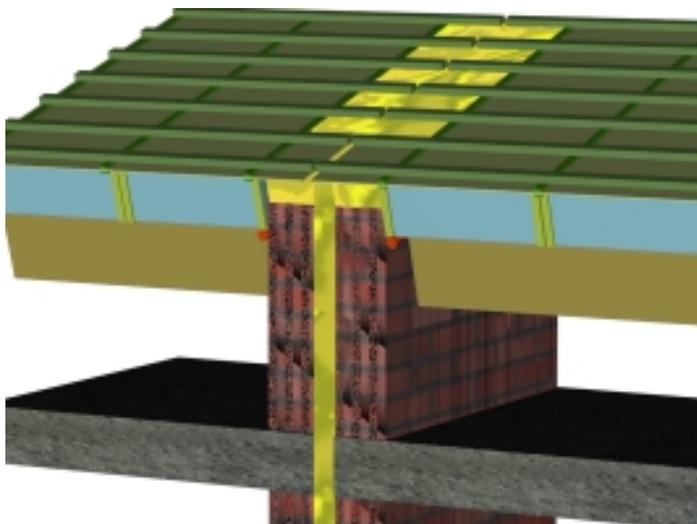


Fig. 3 Toiture constituée de panneaux sandwich : ceux-ci ne doivent en aucun cas reposer sur le mur mitoyen, car le matériau d'isolation thermique rigide et léger qu'ils renferment est peu performant vis-à-vis des bruits aériens.

accollées composées de trois étages (rez-de-chaussée, 1^{er} étage, 2^e étage mansardé) est supérieur de quelques dB entre les pièces du premier étage par rapport à celles du rez-de-chaussée.

2 NOTIONS D'ACOUSTIQUE

- En admettant que l'exécution du mur creux sans ancrage soit irréprochable, les autres voies de diffusion éventuelle du bruit sont constituées par :
- ◆ le flux d'énergie sonore traversant le mur creux (transmission directe)
 - ◆ le transfert latéral du bruit, de la première paroi du mur mitoyen aux fondations, puis des fondations à la seconde paroi, à partir de laquelle la diffusion se poursuit à nouveau
 - ◆ le transfert latéral par les éléments formant contact en partie haute du bâtiment (toit)
 - ◆ le bruit "dérivé" au niveau du toit : le son emprunte une voie plus aisée qu'à travers le mur creux, p. ex. en se propageant jusqu'à la pièce adjacente à travers la finition en sous-face et l'espace ménagé sous l'étanchéité.

Si la réalisation du mur creux laisse à désirer (par exemple, points de jonction entre les deux parois, tels que débris de mortier, planchers continus, crochets d'ancrage, ...), le bruit fera entrer en vibrations la première paroi qui les transmettra sans les avoir considérablement amorties à la seconde paroi, laquelle participera à son tour à la propagation du bruit.

Dans certains cas plus graves encore, la jonction entre les parois est telle que le mur creux réagit acoustiquement comme un mur simple, anéantissant du même coup tous les avantages acoustiques de la construction à double paroi.

2.1 FLUX D'ÉNERGIE SONORE TRAVERSANT UNE STRUCTURE "PAROI-VIDE-PAROI"

2.1.1 MUR CREUX SANS ANCRAGE ÉDIFIÉ DANS LES RÈGLES DE L'ART (SANS POINTS DE JONCTION)

Pour construire un mur creux sans ancrage proche de la perfection, il convient de l'édifier selon le modèle masse-ressort-masse (en abrégé "m-r-m" dans la suite du texte). Ce n'est qu'à des fréquences très élevées (en raison de l'étroitesse du vide intercalaire), situées au-delà du spectre sonore auquel s'intéresse l'acoustique du bâtiment, que l'on devrait obtenir, en théorie, une transmission à trois phases. Aux fréquences les plus basses (en deçà de la fréquence de résonance du système m-r-m), la loi de masse s'applique.

Ce modèle a déjà fait l'objet d'une présentation détaillée dans un article antérieur [2]. Si l'on part des sons les plus graves (basses fréquences), l'isolement acoustique augmente théoriquement de 6 dB par doublement de fréquence (loi de masse) : la double paroi opère comme une paroi simple de même masse surfacique. Au voisinage de la fréquence de résonance du système m-r-m, ce modèle cesse d'être pertinent. A la fréquence de résonance du système m-r-m, l'isolement acoustique chute brutalement jusqu'à son niveau le plus bas, puis augmente de nouveau très rapidement (effet double paroi : théoriquement jusqu'à 18 dB par doublement de fréquence, en pratique beaucoup moins) pour s'affaiblir par la suite aux fréquences moyennes à élevées en raison de la transmission à trois phases et/ou de phénomènes de résonance dans l'espace intercalaire.

Le creux de coïncidence qui caractérise le mur considéré risque d'entraîner un affaiblissement supplémentaire de l'isolement acoustique. Ce recul dépend de la résistance flexionnelle et de la masse surfacique du mur. C'est essentiellement en présence de matériaux mi-lourds résistant à la flexion (béton cellulaire, blocs de plâtre, blocs de construction légers, verre, ...) que l'on doit redouter une diminution sérieuse de l'isolement due à ce phénomène. L'emploi de matériaux d'épaisseurs différentes permet de réduire partiellement l'importance de cet effet.

Pour atteindre un niveau d'isolement élevé, le

système à double paroi est beaucoup plus efficace sur le plan acoustique qu'une paroi simple de poids global identique.

Le système consiste à faire descendre au maximum la fréquence de résonance m-r-m (à un niveau une fois et demie au moins, de préférence deux fois inférieur à la première bande de fréquences pour laquelle une isolation convenable s'impose). Ensuite, on exploite la progression rapide de l'isolement acoustique au-delà de la fréquence de résonance, pour atteindre un niveau d'isolement important aux fréquences plus élevées.

Si l'on veut obtenir une isolement acoustique élevé à partir de 100 Hz (début de la plage des fréquences traditionnellement importantes en acoustique du bâtiment), il faut que la fréquence de résonance soit inférieure à 50 Hz. Cette fréquence de résonance est déterminée par la masse surfacique des deux parois m''_1 et m''_2 (en kg/m^2) ainsi que par la largeur "d" (en m) de la lame d'air entre les deux parois :

$$f_r = \frac{90}{\sqrt{d}} \sqrt{\frac{1}{m''_1} + \frac{1}{m''_2}}$$

Les murs creux sans ancrage de bonne facture constituent un système idéal à double paroi. En raison de la masse surfacique importante des deux parois pour un espace intercalaire de 3 à 5 cm de large, ces murs permettent d'obtenir des fréquences de résonance extrêmement bas-

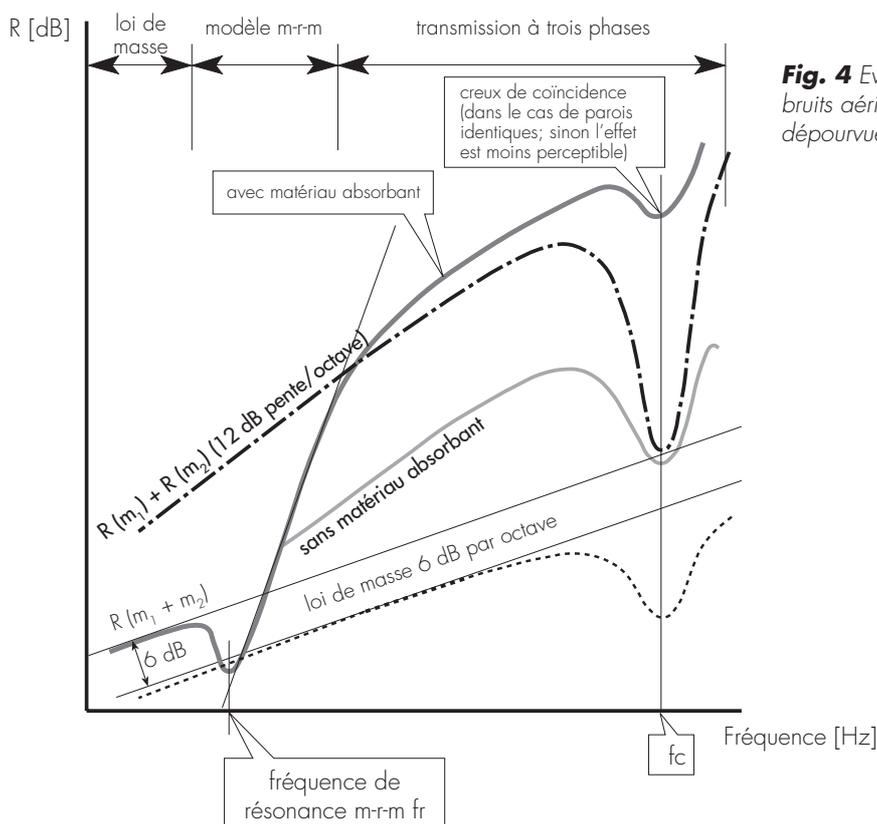


Fig. 4 Evolution théorique de l'isolement aux bruits aériens d'une structure à double paroi dépourvue de jonction structurale.

Tableau 2
Fréquence de résonance selon la largeur de l'espace intercalaire et la masse surfacique (zone hachurée : valeurs déconseillées).

ESPACE INTERCALAIRE [cm]	MASSE SURFACIQUE PAR PAROI	
	200 kg/m ²	250 kg/m ²
2	64 Hz	57 Hz
3	52 Hz	46 Hz
4	45 Hz	40 Hz
5	40 Hz	36 Hz

ses. Conséquence : leur niveau d'isolation est très élevé à partir de 100 Hz (tableau 2).

Même les murs creux sans ancrage dont l'exécution est irréprochable ne conduisent pas, en pratique, à un isolement acoustique comparable à celui d'un mur à double paroi idéal tel que ceux conçus en laboratoire, par exemple. En laboratoire, il est possible d'édifier un mur creux sans ancrage dont une paroi repose sur chacune des dalles des locaux d'émission et de réception. De telles conditions permettent d'obtenir un indice d'affaiblissement acoustique supérieur à 80 dB. En pratique, même d'excellentes liaisons périphériques (fondations, toit, ...) se traduisent, dans la plupart des cas, par une réduction des performances; mais l'un dans l'autre, le niveau d'isolation demeure très élevé.

2.1.2 MUR CREUX SANS ANCRAGE DONT LA RÉALISATION LAISSE À DÉSIRER (POINTS DE JONCTION)

Dans l'hypothèse d'une excellente isolation acoustique et d'une réalisation irréprochable du mur creux sans ancrage, seule une fraction infime de l'énergie sonore réussit à s'introduire dans la structure. Pour un isolement aux bruits aériens de 60 dB, cela signifie qu'un millionième à peine de l'énergie sonore incidente pénètre dans le dispositif. Même pour un isolement acoustique (beaucoup plus faible) de 50 dB, cette fraction demeure minime (1/100.000) ⁽¹⁾.

Cela ne surprendra pas outre mesure que de petites jonctions suffisent à ramener l'isolement acoustique au même niveau que celui d'un mur simple de même masse (400 kg/m² : $D_{nT,w} = \pm 53$ dB).

Pour simplifier, on fera la distinction entre deux voies majeures de transfert sonore supplémentaire :

- ◆ **transmission structurelle** : la mise en vibration de la paroi située côté émetteur génère au niveau des jonctions (du pont de mortier au plancher continu) des vibrations qui se

transmettent à la paroi montée côté récepteur. On peut considérer ce type de transfert comme une sorte de court-circuit acoustique

- ◆ **jonction (à ressorts) rigide** : il existe une liaison mécanique rigide entre la paroi mise en vibration côté émetteur et une partie de la paroi située côté récepteur. Dans un large rayon autour de cette jonction partielle, la paroi située côté récepteur va se mettre à vibrer au diapason de la paroi émettrice. Dans les cas extrêmes, les parois émettrice et réceptrice fonctionnent comme si elles formaient un seul mur. Limité à la loi de masse, l'isolement acoustique est ramené *grosso modo* au niveau de celui d'un mur simple de masse identique. Ce phénomène s'explique de la manière suivante : plus la résistance flexionnelle de la paroi est élevée, plus les vibrations transmises par les jonctions se propageront avec facilité ⁽²⁾.

En ce qui concerne l'isolement aux bruits d'impact, la situation est encore plus sérieuse, parce que l'application de la loi de masse ne constitue qu'un pis-aller au regard de l'intensité des vibrations engendrées par les bruits d'impact. Seuls les planchers flottants offrent une solution satisfaisante. Un mur creux sans ancrage dont la construction laisse à désirer permet de supposer une exécution des détails déficiente sur le plan acoustique; on peut craindre dès lors que ce manque de soin soit aussi la règle lors de la pose du plancher flottant, avec tous les problèmes qui en résulteront ...

La séparation des deux parois ne doit rien laisser au hasard : point de crochets d'ancrage, de débris de mortier, de planchers continus, de pénétration dans le creux d'un excédent de béton provenant de la couche de compression, etc. Comme précisé plus haut dans les directives de construction, il convient d'opter pour un mode de construction qui prévienne l'apparition de jonctions de cette nature. Il est capital que l'entrepreneur, son personnel exécutant et d'encadrement, l'architecte et le bureau d'études saisissent la portée de ce principe et les conséquences qui en découlent, qu'ils l'appliquent correctement et en contrôlent l'observation.

Les bureaux d'études ont tendance à imaginer des solutions basées sur la construction de planchers continus. De telles structures sur divers points d'appui permettent en effet de réduire les coûts de ferrailage, mais ont le plus souvent des conséquences acoustiques extrêmement défavorables (en particulier pour le transfert du bruit d'impact).

⁽¹⁾ La sensibilité logarithmique de l'ouïe autorise une plage de perception des sons particulièrement étendue et permet à celle-ci de percevoir des niveaux de pression acoustique extrêmement faibles.

⁽²⁾ Dans les parois flexibles (p. ex. en plaques de plâtre cartonné), les jonctions n'autorisent qu'un transfert sonore restreint (seulement aux abords des points de contact) si la structure est correctement exécutée (jonctions par points sur une ossature métallique légère). En effet, ce n'est qu'à partir d'une fréquence limite élevée (> 2500 Hz) que l'on assiste à un transfert significatif du bruit.

De plus, il est très difficile de retrouver par la suite les jonctions ainsi créées et d'y remédier (pour autant que la stabilité de l'immeuble le permette). Nous n'ignorons pas que certaines entreprises se sont spécialisées dans le sciage de ces jonctions à travers l'espace intercalaire sur toute la hauteur du mur mitoyen. Ce traitement s'avère toutefois particulièrement coûteux et difficile à mettre en œuvre.

2.2 TRANSMISSION DU BRUIT EN PÉRIPHÉRIE (FONDACTIONS, TOITURE, ...)

Certains contacts sont inévitables au bas des fondations comme à la jonction avec le toit. Plus on s'éloigne de ces zones, plus l'effet double paroi (principe m-r-m) se fait sentir. Il en résulte une amélioration sensible de l'isolement acoustique. Plus près des zones de contact périphériques (et en fonction de leur nature), cet effet va en s'affaiblissant en raison de la transmission latérale du bruit, au point d'atteindre un niveau d'isolation aux bruits aériens à peine supérieur à celui découlant de l'application de la loi de masse.

Une solution envisageable consiste à créer un espace tampon (garage, grenier, etc.) entre les zones de contact périphériques et l'étage où une isolation acoustique élevée s'impose. Cette approche permet d'accroître la distance qui sépare les pièces à protéger des zones de jonction périphériques et conduit à l'élaboration d'un système efficace au sein duquel le transfert sonore se rapproche du modèle m-r-m.

Même si la réalisation d'un espace tampon s'avère impossible, on parvient tout de même à limiter considérablement la diffusion latérale.

Ce sont surtout les zones de contact situées au bas des fondations qui exercent une influence significative. Nous allons tout d'abord nous pencher sur le transfert du bruit à proximité des fondations en cas de construction inadéquate (absence d'encastrement de la dalle dans le mur mitoyen); ensuite, nous verrons pourquoi il est préférable que la dalle repose sur le mur creux sans ancrage pour obtenir de meilleurs résultats.

2.2.1 NON-ENCASTREMENT DE LA DALLE DANS LE MUR MITOYEN (SOLUTION CONTESTABLE)

Si les dalles du rez-de-chaussée ne sont pas encadrées dans les deux parois du mur mitoyen, la paroi émettrice réagira comme un seul mur, des fondations au premier étage. Les ondes de flexion forcée générées dans le local d'émission et percutant le mur produisent un champ vibratoire qui s'étend à toute la paroi émettrice. Abstraction faite des effets de bord, l'énergie vibratoire est pratiquement identique sur l'ensemble de la paroi considérée jusqu'au premier étage (tant à proximité de la dalle de fondation qu'au voisinage du plancher du premier étage).

L'énergie sonore passe du local émetteur au local récepteur en suivant deux voies principales :

- ◆ la paroi émettrice mise en vibration génère

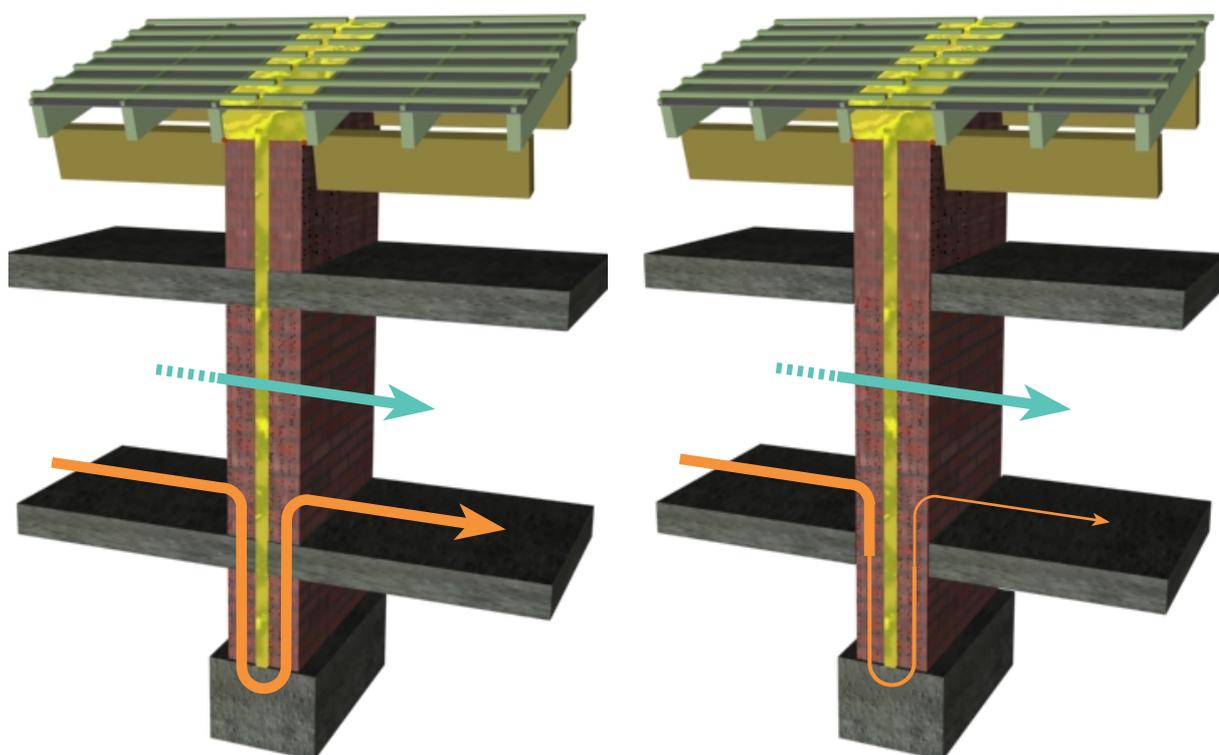


Fig. 5 La situation illustrée à droite est à éviter : la transmission latérale du bruit est moins amortie (elle ne l'est qu'au niveau des fondations). Lorsque les dalles sont encadrées dans les parois du mur mitoyen, on assiste invariablement à l'apparition d'un nœud au sein duquel se produit une atténuation sensible du bruit pour la voie de transmission Ff.

elle-même des vibrations selon le modèle m-r-m dans la paroi réceptrice, qui propage à son tour les bruits dans le local récepteur. Cette diffusion est très limitée au-delà de la fréquence de résonance du système m-r-m (dans le cas présent, le transfert ne s'opère qu'à très basse fréquence)

- ◆ les vibrations générées dans la paroi émettrice se transmettent à la paroi réceptrice par transfert latéral le long des fondations. Cette diffusion est importante : on ne constate en effet aucune réduction à la jonction avec les dalles du rez-de-chaussée (p. 39, fig. 5, à droite).

2.2.2 APPUI DE LA DALLE SUR CHACUNE DES PAROIS DU MUR CREUX SANS EMPIÈTEMENT DE L'ESPACE INTERCALAIRE : LA SOLUTION

Si le plancher (dalle ou hourdis en béton) des maisons accolées est encastré dans chacune des parois du mur mitoyen, en préservant l'espace intercalaire (voir p. 39, figure 5, côté gauche), le mur creux sans ancrage situé en dessous de la dalle du premier étage est scindé en deux parties : la première se situe entre le rez-de-chaussée et le premier étage, la seconde entre la dalle du rez-de-chaussée et les fondations. Les ondes de flexion forcée à l'émission induisent, dans le cas présent, un champ vibratoire entre la dalle du rez-de-chaussée et le premier étage.

Dès lors, le transfert du bruit entre locaux émetteur et récepteur du rez-de-chaussée se déroule comme énoncé ci-après.

1. Selon le modèle m-r-m, à travers le pan du mur creux sans ancrage qui sépare les deux dalles (transfert particulièrement restreint).
2. Le transfert latéral du bruit génère un second champ vibratoire dans le pan de mur mitoyen situé sous la dalle du rez-de-chaussée; les vibrations sont amorties au niveau du nœud.
3. Le bruit emprunte ensuite différentes voies pour atteindre le local de réception :
 - a) transfert m-r-m (très limité) entre les deux pans de mur creux situés sous la dalle du rez-de-chaussée
 - b) transfert transversal par les fondations vers la partie du mur creux située côté récepteur sous la dalle du rez-de-chaussée, avec un deuxième, puis un troisième amortissement des vibrations à la jonction des murs et des fondations.

Les voies a) et b) se rejoignent au sein de la paroi réceptrice, sous le plancher.

4. Enfin, les vibrations franchissent le nœud – nouvel amortissement (le quatrième) à l'intersection avec la dalle du rez-de-chaussée – et excitent la paroi réceptrice située entre les deux dalles, laquelle propage à son tour les bruits du côté récepteur.

Les quatre zones d'amortissement des vibrations identifiées démontrent amplement l'intérêt que présente le système. Que l'on assiste à un net amortissement des vibrations lors de leur passage entre le mur et les fondations est facile à saisir : les masses en présence sont en effet très différentes. En revanche, l'atténuation importante de la transmission résultant des conditions d'appui des planchers réclame un complément d'explication.

A ce sujet, on se reportera à la théorie développée dans un article antérieur [6]. En quelques mots, on assiste au phénomène suivant (figure 6) : au droit du nœud entre le plancher et la paroi du mur creux sans ancrage, les vibrations se transmettent par les voies Fd (de la paroi verticale au plancher; cette voie n'apparaît pas sur la figure) et Ff (de la partie de la paroi située au-dessus du plancher à son prolongement sous le plancher). La contribution vibratoire de cette dernière voie de transfert s'additionne encore d'autres flux sonores qui empruntent la voie Df (du plancher vers la partie de la paroi du mur creux située sous le plancher). Dans le cas d'un plancher flottant, la voie de transmission Df peut être considérée comme négligeable.

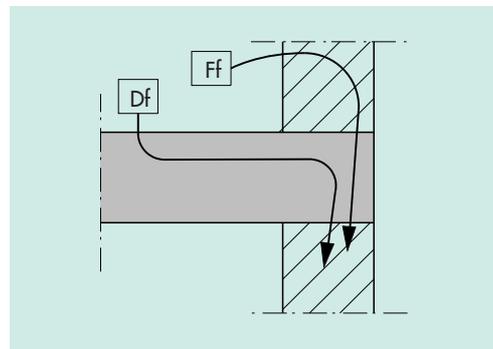


Fig. 6 Voies de transmission du bruit à la jonction entre un plancher et des parois verticales.

La transmission des vibrations Ff subit cependant à la jonction une atténuation K_{Ff} qui augmente avec le poids du plancher, soit :

$$K_{Ff} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2$$

où $M = \log$ (masse surfacique du plancher / masse surfacique de la paroi) (calcul estimatif selon la norme EN ISO 12354-1:2000) [3].

Si la masse surfacique des parois s'élève à 200 kg/m^2 , l'atténuation produite par cette jonction grimpe rapidement jusqu'à 15 dB, voire davantage si la masse surfacique des planchers est deux fois plus élevée. On évalue à 60 dB au moins l'indice d'affaiblissement des bruits latéraux jusqu'à la dalle de fondation. Par conséquent, les vibrations transmises sous la dalle du rez-de-chaussée sont nettement moindres que celles enregistrées au-dessus de la dalle.

La quadruple atténuation produite par les jonctions permet de contourner le problème que constituent l'assemblage rigide des deux parois du mur mitoyen au niveau des fondations ainsi que l'important transfert latéral du bruit qui en résulte. La première atténuation est perceptible au droit du nœud formant l'intersection de la dalle du rez-de-chaussée et de la paroi du mur creux côté émetteur, la deuxième et la troisième à la jonction entre les fondations et les murs et, enfin, la quatrième côté récepteur.

On peut en conclure que l'encastrement des planchers dans les parois du mur mitoyen (en tenant compte du joint) a un impact très positif sur l'isolement acoustique. Les mesures effectuées révèlent une amélioration potentielle de l'ordre de 6 dB au moins [5].

Si l'on opte pour un mur mitoyen ne comportant qu'une seule paroi, on assiste à une inversion des résultats. Dans ce cas, il est préférable de ne pas encastrent les planchers dans le mur, mais au contraire de les en désolidariser (cf. § 2.5).

2.2.3 REMARQUES

La réalisation de *fondations profondes* (séparation des deux parois sur une distance de 50 cm environ sous la dalle du rez-de-chaussée) présente l'avantage d'accroître la distance entre le local d'émission et la jonction rigide avec les parois. Les fondations de cette nature ont le mérite de restreindre la transmission structurelle du bruit.

Si l'adoption de fondations profondes s'avère impossible pour des raisons techniques (niveau de la nappe phréatique, parking en continu, ...), il convient d'ériger le mur creux sans ancrage sur les dalles du rez-de-chaussée, lesquelles seront séparées l'une de l'autre par un joint.

Dans une telle configuration, les dalles auront une masse surfacique de plus de 250 kg/m² (c'est le plus souvent le cas). Comme le transfert latéral du bruit est plus important, il est recommandé de construire des parois plus lourdes que ne le veut l'usage. Les dalles reposent soit directement sur les fondations, soit sur un mur ou sur des poutres d'un poids maximal.

Dans certaines situations, la dalle du rez-de-chaussée est coulée à même un lit de sable; dans ce cas, comme il n'est pas envisageable d'y poser le mur creux sans ancrage, il convient d'édifier ce mur directement sur les fondations en le désolidarisant de la dalle de béton (joint de tassement). Cette situation est loin d'être optimale; lors du dimensionnement du mur mitoyen, il est préférable de ne tenir compte que d'un gain minime par rapport à la loi de masse (cf. mesurage dans l'encadré ci-dessous).

Il est possible de restreindre considérablement l'importance des zones de jonction avec la toiture, en prolongeant la séparation des habitations jusqu'aux tuiles (sans hésiter à interrompre les liteaux). Certaines entreprises commercialisent des tuiles spéciales dotées d'une semelle antivibratile. Quoi qu'il en soit, ce mode de jonction est très peu performant. Le bruit "dérivé" constitue un problème plus sérieux. Diverses solutions techniques abordées plus haut permettent d'y remédier.

Campagnes de mesures

□ Un projet d'appartements a vu l'édification d'un immeuble composé de cinq blocs séparés par une série de murs creux sans ancrage. En raison de l'aménagement d'un parking souterrain commun au sous-sol, l'entrepreneur s'est résolu à ériger ses murs doubles sur une poutre en béton (d'une épaisseur de 40 cm) située à une hauteur de 30 cm environ du niveau du sol fini. Les parois sont renforcées au moyen de blocs de construction (2 x 19 cm, masse surfacique globale : 450 kg/m²).

Les valeurs de $D_{nT,w}$ mesurées oscillent entre 58 et 66 dB (*). C'est un peu plus que ne le laissait prévoir la loi de masse (estimation basée sur la masse surfacique : 57 à 59 dB environ pour des volumes de l'ordre de 13 et 20 m³ et un temps de réverbération de 0,5 s).

□ Dans le cadre d'un projet réalisé à Zeeuws, en Flandre (**), l'entrepreneur a édifié un mur creux sans ancrage entre deux dalles de béton de 22 cm d'épaisseur. Séparées par un espace de 5 cm, les deux parois de ce mur se composent de briques silicocalcaires de 15 cm. Le résultat ($D_{nT,w} = 61$ dB) est légèrement supérieur à ce que la loi de masse laissait prévoir.

(*) Les mesures ont été réalisées au rez-de-chaussée par le bureau d'études Daidalos (ir. P. Mees); une partie du mur mitoyen se compose d'une poutre en béton recevant l'appui du mur creux sans ancrage. Les volumes concernés sont relativement restreints.

(**) Mesures effectuées par le CSTC.

Résultats

1) Projet 1 – Mesures exécutées par le bureau d'études Daidalos (Pol Mees)

- Mur creux sans ancrage : blocs de construction de 14 cm d'épaisseur – espace intercalaire de 5 cm garni de panneaux de polystyrène expansé de 3 cm d'épaisseur – blocs de construction de 14 cm d'épaisseur.
- Masse surfacique cumulée des deux parois : près de 400 kg/m².
- Planchers composés de hourdis creux de 12 cm d'épaisseur en béton précontraint, d'une couche de compression de 3 cm, d'une dalle flottante possédant une bonne isolation aux bruits d'impact et d'une chape de 6 cm d'épaisseur.

L'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ mesuré horizontalement oscille entre 49 et 68 dB, la valeur moyenne s'élevant à 60 dB. Sur les 10 mesures exécutées, une seule valeur se situe en deçà de 59 dB, à savoir 49 dB. Cette valeur insuffisante serait imputable à la présence de ponts structurels entre deux parois.

L'isolement horizontal aux bruits d'impact $L'_{nT,w}$ fluctue entre le meilleur (45 dB) et le plus mauvais résultat (57 dB), avec une moyenne de 50 dB. Sur les huit mesures réalisées, une seule valeur est supérieure à 54 dB pour quatre résultats inférieurs ou égaux à 49 dB. Le résultat le plus médiocre a été obtenu au point pour lequel la mesure de l'isolement aux bruits aériens s'était également soldée par l'obtention du plus mauvais résultat.

2) Projet 2 – Mesures exécutées par le bureau d'études Daidalos (Pol Mees)

- Mur creux sans ancrage : blocs de construction de 19 cm d'épaisseur – espace intercalaire de 5 cm garni de panneaux de polystyrène expansé de 3 cm d'épaisseur – blocs de construction de 19 cm.
- Masse surfacique cumulée des deux parois : près de 500 kg/m².
- Planchers composés de hourdis creux de 12 cm d'épaisseur en béton précontraint, d'une couche de compression de 3 cm, d'une dalle flottante possédant une bonne isolation aux bruits d'impact et d'une chape de 6 cm d'épaisseur.

L'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ mesuré horizontalement oscille entre 58 et 70 dB, la valeur moyenne s'élevant à 65 dB. L'isolement horizontal aux bruits d'impact $L'_{nT,w}$ fluctue entre le meilleur (41 dB) et le plus mauvais résultat (46 dB).

L'excellence des résultats obtenus doit énormément à l'exécution très soignée du mur creux sans ancrage.

3) Projet 3 – Mesures effectuées par le CSTC

- Mur creux sans ancrage : briques silicocalcaires de 15 cm d'épaisseur – espace intercalaire de 5 cm (*) – briques silicocalcaires de 15 cm d'épaisseur.
- Masse surfacique cumulée des deux parois : près de 500 kg/m².

Dans le cas présent, il ne s'agit pas de maisons mitoyennes, mais d'immeubles à appartements. Le mur creux sans ancrage repose sur une dalle de béton continue de 22 cm d'épaisseur. Cette dalle constitue en outre le plancher porteur de deux pièces d'habitation contiguës. L'espace intercalaire sans ancrage est surmonté d'une nouvelle dalle de béton de 22 cm d'épaisseur dont le support en néoprène repose sur les briques silicocalcaires. Les planchers sont recouverts d'une chape flottante de 8 cm d'épaisseur posée sur un mat de laine minérale.

L'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ ($C;C_{tr}$) mesuré horizontalement s'élève à 61 dB.

Réalisées en béton armé de 30 cm d'épaisseur, les parois séparatives inférieures possèdent une masse surfacique de près de 700 kg/m². L'isolement aux bruits aériens s'élève à 62 dB.

En dépit de ses parois beaucoup plus lourdes, ce mur creux sans ancrage d'une masse surfacique relativement faible et d'une exécution peu soignée conduit à des résultats pratiquement comparables.

(*) L'absence de tout pont structurel a pu être vérifiée lors de l'exécution des travaux.

4) *Projet 4 – Mesures effectuées par le CSTC*

- Mur creux "sans ancrage" : blocs de construction de 14 cm d'épaisseur – espace intercalaire de 3 cm de large – blocs de construction de 14 cm.
- Masse surfacique cumulée des deux parois : moins de 400 kg/m².

Cette campagne de mesures a été menée dans le cadre d'un projet d'urbanisation portant sur une quarantaine de maisons accolées par des murs mitoyens réalisés conformément aux directives fournies ci-avant. Cependant, plusieurs plaintes ont été enregistrées. L'examen des photographies prises au cours des travaux a révélé que le principe du mur creux sans ancrage n'avait pas été respecté lors de l'exécution :

- ◆ au rez-de-chaussée, la dalle de béton s'étend parfois sans discontinuer sur la largeur de plusieurs maisons, à telle enseigne que l'on ne peut plus légitimement parler de séparation jusqu'aux fondations
- ◆ lors du coulage de la couche de compression sur les hourdis du premier étage, du béton frais se serait déversé dans l'espace intercalaire non protégé du mur creux de certaines maisons mitoyennes
- ◆ l'exécution peu soignée de certains détails de jonction avec la toiture n'est pas étrangère à l'obtention de résultats parfois décevants.

L'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ a été mesuré dans onze maisons. Quatre mesures de l'isolement aux bruits d'impact ont en outre été effectuées dans le même complexe. En résumé, l'isolement aux bruits aériens $D_{nT,w}$ fluctue comme suit :

- ◆ rez-de-chaussée : de 53 à 59 dB; valeur moyenne : 55,5 dB. Le fait que les résultats obtenus sont tantôt proches de 53 dB, tantôt de l'ordre de 58 à 59 dB mérite d'être souligné. De tels écarts sont révélateurs de défauts d'exécution. Une simple comparaison avec le projet évoqué au point 2) fait apparaître qu'il eût été possible d'obtenir de meilleurs résultats, même pour les valeurs supérieures, en veillant, par exemple, à séparer jusqu'aux fondations les deux parois des murs mitoyens
- ◆ étage : de 52 à 59 dB; valeur moyenne : 54,7 dB. Ici aussi, les valeurs relevées se rangent manifestement dans deux catégories distinctes : les résultats voisins de 52 dB et ceux proches de 59 dB.

Des essais aux bruits d'impact ont été menés aux endroits où l'isolement aux bruits aériens s'est avéré médiocre. Les résultats font apparaître des valeurs $L'_{nT,w}$ supérieures à 60 dB qui révèlent incontestablement l'existence de ponts structurels. L'isolement aux bruits d'impact a également été mesuré dans les deux chambres où l'isolement aux bruits aériens s'était révélé satisfaisant. On y a obtenu une valeur $L'_{nT,w}$ de 43 dB (les valeurs $L'_{nT,w}$ les plus faibles attestent d'une meilleure isolation au bruit d'impact).

Ce projet met en évidence, d'une part, le niveau potentiellement élevé de l'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impact et, d'autre part, l'effet des défauts de construction sur les performances atteintes.

5) *Rapport de mesure établi par l'Interdépartementale Commissie Geluidhinder (ICG), WG 8.2, Rapport Stichting Bouwresearch 181 "Geluidisolatie : ankerloze spouwmuur of enkelvoudige muur" [4]*

Ce rapport n'indique à aucun moment la nature des murs étudiés; par contre, les masses surfaciques sont communiquées.

□ Pour une masse surfacique globale de 400 kg/m², les chercheurs obtiennent, dans le cas d'un mur creux sans ancrage reposant sur des fondations profondes (50 cm), une valeur de $D_{nT,w}$ susceptible d'atteindre approximativement (**) 59 dB au rez-de-chaussée. La valeur moyenne obtenue dans plusieurs maisons redescend à 57 dB en raison de défauts d'exécution. La valeur minimale obtenue s'élève à 52 dB. La paroi extérieure du mur de façade se prolongeait sur plusieurs maisons mitoyennes. Le rapport mentionne de surcroît qu'une interruption de la paroi extérieure du mur de façade au droit du joint présent dans un mur creux sans ancrage a permis de gagner jusqu'à 3 dB. Dans une publication plus récente [5], ce gain potentiel n'est plus évalué qu'à 1 dB. A l'étage, $D_{nT,w}$ peut atteindre la valeur maximale de 62 dB, tandis que la valeur moyenne s'élève à 59 dB et la valeur minimale à 57 dB.

□ Pour une masse surfacique globale de 500 kg/m², les chercheurs obtiennent, dans le cas d'un mur creux sans ancrage édifié sur des fondations profondes (50 cm), une valeur de $D_{nT,w}$ susceptible d'atteindre approximativement (**) 62 dB au rez-de-chaussée. La valeur moyenne obtenue dans plusieurs maisons redescend jusqu'à 57,5 dB en raison de défauts d'exécution. La valeur minimale s'élève à 52 dB. A l'étage, la valeur moyenne est de 59 dB.

(**) Dans ce rapport, les données mesurées sont exprimées en I_{lv} . Nous y avons appliqué la méthode de conversion suivante : $D_{nT,w} = I_{lv} + 52$ dB.

2.3 CAS SPÉCIAL DES IMMEUBLES À APPARTEMENTS

On est en droit de se demander pourquoi les parois doivent posséder une masse surfacique importante et pour quelles raisons la technique du mur creux sans ancrage s'applique plus difficilement aux immeubles à appartements. On en dénombre deux.

1) L'isolement aux bruits aériens oscille *grosso modo* entre la loi de masse – mauvaise exécution, zones proches des jonctions (p. ex. en l'absence de fondations profondes), dalles non encastrées dans les murs – et un optimum basé sur le modèle m-r-m. De légers défauts d'exécution sont susceptibles de réduire à néant l'effet de double paroi. En pareil cas, un projet prévoyant l'édification de parois suffisamment lourdes pourrait ne plus offrir le niveau de confort le plus élevé ($D_{nT,w} \geq 59$ dB), l'isolation demeurant suffisante pour éviter de susciter une gêne excessive chez les habitants.

2) En comparaison avec les murs mitoyens traditionnels de 30 cm d'épaisseur en briques pleines (jusqu'à 500 kg/m²)⁽³⁾, les parois des murs creux sans ancrage possèdent une masse surfacique sensiblement inférieure en raison de leur épaisseur moindre (< 20 cm par paroi). Il en résulte une transmission latérale verticale accrue du bruit. L'isolement acoustique latéral R_{Ff} , R_{Fd} , R_{Df} pour les trois voies de transmission dépend en effet de⁽⁴⁾ :

$$R_{Ff} = (R_F + R_f)/2 + K_{Ff} + 10 \log Ss / (l_{0f})$$

$$R_{Fd} = (R_F + R_d)/2 + K_{Fd} + 10 \log Ss / (l_{0f})$$

$$R_{Df} = (R_D + R_f)/2 + K_{Df} + 10 \log Ss / (l_{0f})$$

avec

$R_F = R_r$, l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi verticale continue (équivalent si le mur reposant sur le plancher est identique à celui situé au-dessous)

$R_D = R_d$, l'indice d'affaiblissement acoustique de la dalle de béton (réduit, le cas échéant, par la présence d'un plancher flottant).

La valeur restreinte de R_F (indice d'affaiblissement acoustique pondéré : de l'ordre de 45 à 50 dB selon la masse surfacique) implique que l'isolement acoustique latéral total demeure limité pour ce nœud. Le terme K_{Ff} ne dépasse pas 15 dB. Ainsi, si l'on considère le dernier terme comme négligeable, R_{Ff} est limité à quelque 60 à 65 dB. R_{Fd} et R_{Df} se situent le plus souvent dans une plage comprise entre 62 et 67 dB.

Dans le cas le plus défavorable, et le plus fréquent (200 kg/m²), cela signifie que l'isolement acoustique latéral demeure limité à 60 dB \oplus 62 dB \oplus 62 dB = 56,5 dB⁽⁴⁾.

Si l'on tient compte des quatre autres nœuds (autres parois de la pièce considérée) et de la transmission directe, $D_{nT,w}$ est susceptible de prendre une valeur inférieure à 50 dB; en d'autres termes, le manque de confort est patent. Au sein d'une même habitation, ce niveau de confort s'avère cependant tout à fait acceptable.

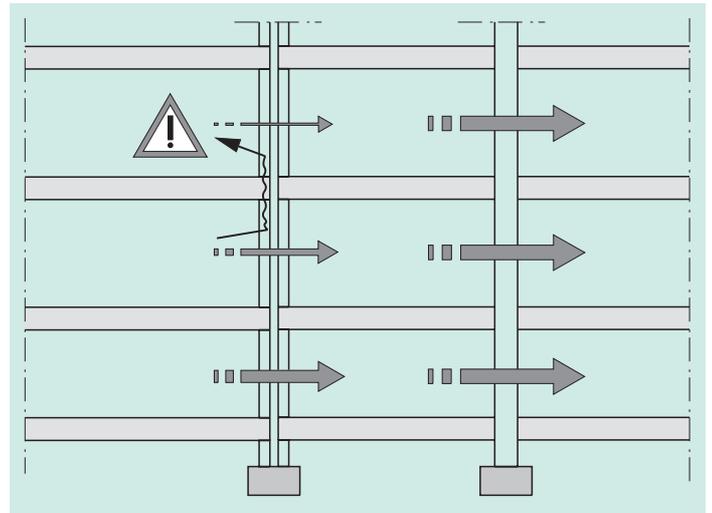


Fig. 7 En raison de l'importante transmission latérale verticale du bruit qui caractérise les murs creux sans ancrage, leur emploi n'est pas immédiatement transposable dans les immeubles multifamiliaux. La transmission latérale horizontale du bruit parallèlement au mur creux sans ancrage entraîne également une diminution de l'isolement acoustique, lequel n'atteint de valeur élevée qu'en sens horizontal de l'autre côté du mur creux sans ancrage.

2.4 MURS CREUX SANS ANCRAGE DES MAISONS MITOYENNES CONSTRUITES À DES ÉPOQUES DIFFÉRENTES

Si l'emploi de crochets d'ancrage n'anéantit pas totalement l'effet de double paroi, il n'en nivelle pas moins les résultats au plus bas. Plus l'exécution d'un mur creux sans ancrage est soignée, plus l'écart entre son isolement acoustique et celui d'un mur creux équipé de pièces d'ancrage devient perceptible. Lorsque l'on ambitionne le niveau de confort le plus élevé (p. ex. $D_{nT,w} = 59$ dB, les mécontents représentant moins de 10 % des habitants), l'utilisation

⁽³⁾ A ne pas confondre avec des murs mitoyens en blocs de construction d'une épaisseur de 30 cm dont la masse surfacique est susceptible d'osciller entre 240 kg/m² (blocs possédant d'excellentes propriétés thermiques) et 400 kg/m² (blocs de construction lourds), autrement dit possédant une masse surfacique particulièrement faible (qui se traduit par un isolement acoustique médiocre).

⁽⁴⁾ Pour plus d'informations concernant la notation et le mode de calcul, il convient de se reporter à l'article préliminaire "Isolation acoustique entre deux locaux" [6].

de pièces d'ancrage est à proscrire, *a fortiori* lors de la construction simultanée de deux maisons mitoyennes.

Le problème se pose cependant pour les maisons mitoyennes construites à des époques différentes. L'absence initiale de la seconde paroi est à l'origine de divers problèmes :

- ◆ défauts touchant à la physique du bâtiment : humidité, mauvaise isolation thermique pendant la période séparant la construction de la première maison de celle de la seconde
- ◆ problèmes de propriété : comment convaincre le nouveau propriétaire d'édifier une seconde paroi sans ancrage plutôt que de considérer la paroi extérieure de la première maison comme un mur mitoyen ? Etc.

La meilleure solution consiste pourtant à protéger provisoirement le mur de toute atteinte portant sur la physique du bâtiment. Lors de la construction de la seconde maison, les directives classiques devront être respectées. Inconvénient majeur : les parties intéressées dépendront de la bienveillance du futur maître d'œuvre.

L'alternative consiste à ériger la seconde paroi du futur mur mitoyen lors de la construction de la première maison. Dans ce cas de figure, deux problèmes se posent :

- ◆ sur le plan de la stabilité (charge due au vent)
- ◆ sur le plan acoustique, dans la mesure où les planchers de la seconde maison mitoyenne à bâtir ne peuvent être encastrés dans la paroi du mur creux sans ancrage.

Ces difficultés sont susceptibles d'entraîner une petite diminution de l'isolement acoustique inhérente à l'augmentation de la transmission latérale du bruit, laquelle est elle-même due à l'absence d'atténuation à la jonction du plancher du rez-de-chaussée de la future maison mitoyenne. L'un dans l'autre, cette particularité ne devrait avoir qu'un impact limité, puisque rien ne remet en cause l'atténuation du bruit à la jonction du plancher du rez-de-chaussée de la première maison, qui, lui, est bel et bien encastré. Pour résoudre le problème de la charge due au vent, on peut imaginer un dispositif d'ancrage amovible (cette solution sera abordée dans un prochain article).

2.5 MAISONS ACCOLÉES PAR DES MURS MITOYENS MASSIFS

2.5.1 PRINCIPE DE CONSTRUCTION

Il est évident que l'édification de murs creux sans ancrage constitue la solution idéale pour les maisons mitoyennes. Si, pour l'une ou l'autre raison, on opte pour un mur mitoyen massif, il est souhaitable qu'il possède une masse surfacique très importante ($> 500 \text{ kg/m}^2$). Il sera toutefois difficile d'obtenir un isolement acoustique $D_{nT,w}$ supérieur à 54 dB à cause de la transmission latérale du bruit. Contrairement au cas du mur creux sans ancrage, l'édification de murs mitoyens massifs n'est pas propice à l'encastrement des planchers (figure 8).

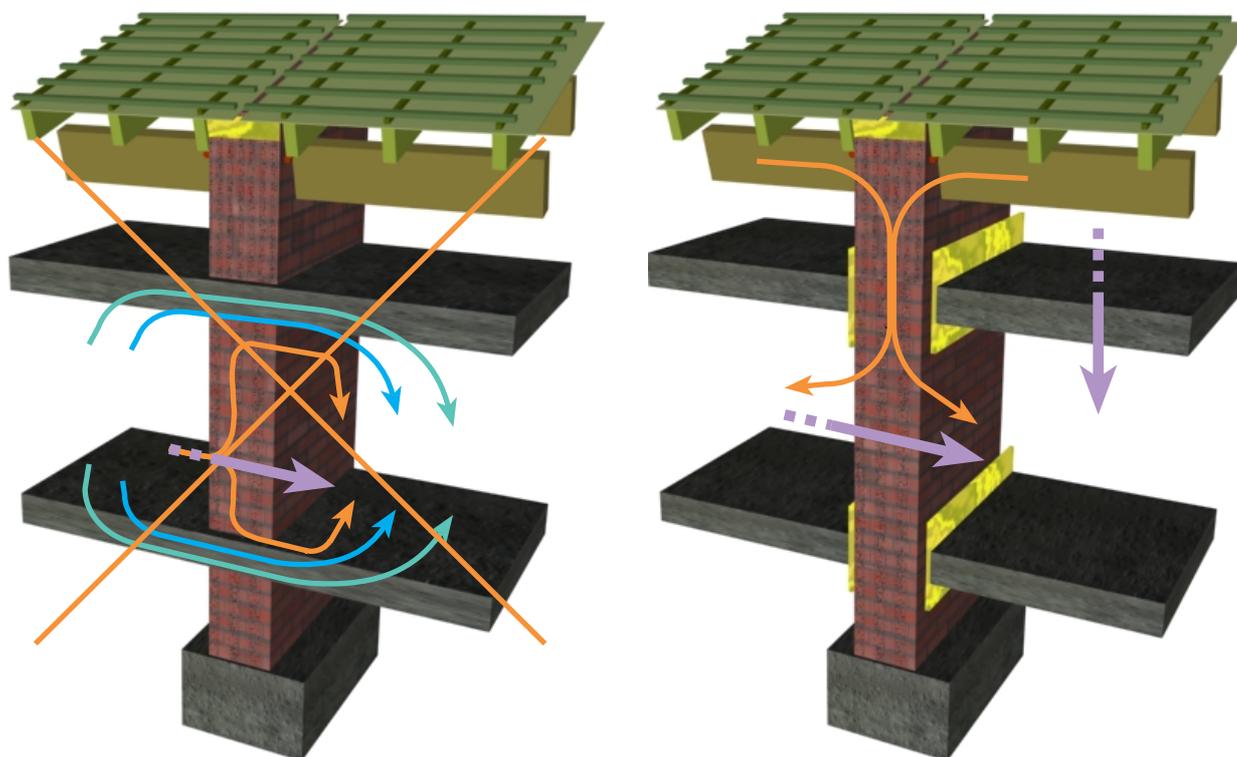


Fig. 8 Le non-encastrement des planchers dans le mur mitoyen massif empêche la transmission latérale du bruit par le biais des planchers (figure de droite). Seul le transfert latéral subsiste.

Le non-encastrement des planchers dans le mur mitoyen empêche la diffusion latérale du bruit par l'intermédiaire des dalles de béton. Dans ce cas de figure, seul subsiste un transfert latéral vertical (au-dessus ↔ en dessous et en diagonale). Le caractère massif du mur mitoyen devrait en outre restreindre ce transfert.

La pose de cloisons acoustiques de part et d'autre du mur mitoyen conduit à limiter encore la transmission horizontale et latérale du bruit. L'isolation acoustique horizontale qui en résulte permet pratiquement d'égaliser le niveau de performances des murs creux sans ancrage.

Il convient d'appliquer le même principe aux murs de refend. Lorsque cette option est envisageable (stabilité de l'immeuble), on ménagera un joint élastique à la jonction avec le mur mitoyen. Ce type d'exécution s'impose dans tous les cas en présence de murs de refend mi-lourds.

Idéalement, les murs de refend devraient être constitués de cloisons en plaques de plâtre cartonné, parce que leur présence rend négligeable la transmission latérale du bruit avec le mur mitoyen. Si les murs lourds liaisonnés au mur mitoyen sont moins propices à la transmission latérale du bruit, ils n'en limitent pas moins l'isolement aux bruits aériens des murs mitoyens massifs.

Une fois de plus, il convient d'accorder une attention particulière à la réalisation des ouvrages de raccord à la toiture.

2.5.2 RÉNOVATION ACOUSTIQUE

Lorsque l'isolement aux bruits aériens s'avère décevant, on peut tenter d'y remédier par la pose de cloisons de doublage. En principe, ces cloisons composées de plaques (d'ordinaire en plâtre cartonné) se montent à une distance minimale du mur existant (> 5 cm, davantage s'il s'agit d'absorber des bruits de très basse fréquence, à l'instar de ceux produits dans les établissements du secteur de l'horeca). Il y a lieu de limiter au maximum les contacts entre le mur existant et la cloison de doublage. L'espace intercalaire sera comblé à l'aide d'un matériau absorbant (p. ex. laine minérale ou matériau équivalent). Les solutions classiques consistent en une ossature métallique légère revêtue de plaques de plâtre cartonné et de laine minérale ou en un habillage de panneaux en matériau absorbant et résilient à cellules ouvertes, collés en divers points sur le mur existant.

L'efficacité de ces solutions dépend dans une large mesure de l'importance de la transmission directe par rapport à la transmission laté-

rale du bruit. Si la transmission latérale est limitée (murs de refend séparés, plancher en bois) et si le mur mitoyen est relativement peu performant (sur le plan acoustique), l'amélioration sera sensible.

Toutefois, cette situation se rencontre rarement. Dans la plupart des cas, l'isolement acoustique latéral est à peine supérieur à l'isolement aux bruits aériens du mur mitoyen. Si l'on procède à la pose de cloisons de doublage, l'amélioration de l'isolement acoustique global entre les deux locaux considérés ne dépassera pas le niveau atteint par l'isolement acoustique latéral (au-delà, le bruit résiduel est exclusivement transmis par la voie latérale).

D'autres solutions envisageables consistent à neutraliser la diffusion latérale du bruit par un découplage des voies de transmission latérales ou par la pose de cloisons de doublage devant les parois latérales. De telles solutions peuvent aboutir en fin de compte à la réalisation de structures gigognes.

Ajoutons enfin qu'en matière de rénovation acoustique, il est essentiel de s'entourer des conseils de spécialistes.

CONCLUSION

Le mur mitoyen idéal est sans conteste un mur creux sans ancrage. Pour obtenir un niveau élevé d'isolement aux bruits aériens et aux bruits d'impact, il y a lieu de respecter à la lettre les directives de construction énoncées dans cet article : encastrement des planchers dans les parois du mur mitoyen, joint courant des fondations à la toiture, finition soignée des ouvrages de raccord à la toiture, parois de masse surfacique élevée. Il faut également accorder une attention particulière à la réalisation du mur, afin de prévenir la formation de ponts structurels entre les deux parois.

Si l'érection de murs mitoyens sans ancrage s'avère impossible, il faut que le mur mitoyen soit le plus lourd possible et que les planchers en soient dissociés, afin de limiter la transmission latérale du bruit. On veillera en outre à désolidariser avec le plus grand soin les murs de refend mi-lourds du mur mitoyen. Les murs mitoyens massifs à paroi simple ne permettent pas d'atteindre le même niveau de performances acoustiques que les murs creux sans ancrage.

Enfin, il convient de souligner qu'il est toujours très difficile de procéder à la rénovation acoustique d'immeubles existants. ■

BIBLIOGRAPHIE

- 1** Beranek L.
Noise and Vibration Control. Washington DC, Institute of Noise Control Engineering, Revised Edition, 1988.
- 2** Blasco M.
L'acoustique des portes. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 2000.
- 3** Comité Européen de Normalisation
EN ISO 12354-1:2000 Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings and of building elements. Part 1 : airborne sound insulation between rooms. Bruxelles, CEN, 2000.
- 4** De Lange P.A.
Geluidisolatie : ankerloze spouwmuur of enkelvoudige muur. Rotterdam, Stichting Bouw-research, n° 181, 1988.
- 5** Hartman R.A.A.
Akoestische details voor de woningbouw. Rotterdam, Stichting Bouwresearch, mars 1997.
- 6** Ingelaere B.
Isolation acoustique entre locaux. Notions préliminaires. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 2001.
- 7** Ingelaere B.
Isolation acoustique des planchers en bois. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 2001.
- 8** Ingelaere B., Duthoit F. & Geentjes G.
Adaptation de la normalisation belge en matière d'acoustique du bâtiment. Bruxelles, CSTC, rapport de recherche établi pour le compte du ministère des Affaires économiques, août 2001.
- 9** Vermeir G. & Mees P.
Geluidisolatievoorschriften in de woningbouw. Louvain, rapport établi pour le compte du ministère de la Communauté flamande, département *Algemeen Milieu- en Natuurbeleid*, février 1999.

Les auteurs tiennent 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.

Pour plus d'informations concernant l'isolation acoustique, rendez-vous à l'adresse internet suivante :

http://www.bbri.be/antenne_norm