

# ISOLATION ACOUSTIQUE DES FENÊTRES (2)

Bart Ingelaere, ir., chef de projet, division  
Physique du bâtiment & Climat intérieur, CSTC  
Gerrit Vermeir, prof. dr. ir., professeur à la  
K.U. Leuven

Dans notre numéro de printemps [4], nous avons examiné les performances acoustiques des vitrages. Ce second article traite de l'isolation aux bruits aériens des fenêtres (et donc des performances de l'ensemble "châssis et vitrage"), des blocs de verre et des différents types de plaques en polycarbonate. Nous expliquerons également la problématique du bruit d'impact de la pluie sur les surfaces vitrées inclinées. Les nouvelles tendances de l'architecture font intervenir des couvertures vitrées dans un nombre toujours croissant de projets. Or, l'utilisation normale des espaces qu'elles abritent peut être perturbée par le bruit d'impact de la pluie.

## 1 ETUDE EN LABORATOIRE DE L'ISOLATION DES FENÊTRES AUX BRUITS AÉRIENS

La conception de la fenêtre est particulièrement importante dans l'obtention des performances acoustiques.

Celles-ci peuvent en effet s'en trouver sensiblement améliorées (voir la fenêtre double et la "Verbundfenster", § 1.2, p. 28) par rapport à celles du vitrage seul (cf. 1<sup>ère</sup> partie, tableau 6) [4] ou, au contraire, s'avérer inférieures à celles des vitrages mis en œuvre. Ces comportements peuvent être facilement étudiés si l'on examine d'abord la fenêtre en coupe (sa conception) et ensuite la fenêtre de face.

□ La fenêtre considérée en coupe peut être constituée, par exemple, de plusieurs feuilles de verre qui, grâce à une construction adéquate du châssis, sont séparées par une lame d'air épaisse. Cette conception permet d'amener la résonance masse-ressort-masse à moins de 100 Hz. Du fait de la croissance rapide de l'isolation acoustique au-delà de la fréquence de résonance, l'isolation acoustique globale de la fenêtre ( $R_w > 50$  dB) est nettement plus élevée que celle du vitrage pris isolément (cf. 1<sup>ère</sup> partie, tableau 6) [4] <sup>(1)</sup>. Les conceptions spéciales de fenêtres permettant d'atteindre une isolation aux bruits aériens très élevée seront étudiées au § 1.2 (p. 28).

□ Lorsqu'on examine la fenêtre de face, on constate que sa surface totale se compose de deux parties : la surface vitrée et la surface

totale apparente du châssis (qui peut parfois couvrir jusqu'à 30 % et plus de l'ouverture de la baie). On pourrait supposer *a priori* que l'isolation globale équivaut à l'isolation du châssis et à celle de la partie vitrée. L'isolation du châssis aux bruits aériens peut alors avoir une grande influence sur celle de la fenêtre. Grâce au choix approprié des profilés, il est possible de limiter l'affaiblissement de l'isolation globale de la fenêtre aux bruits aériens par rapport à l'isolation de la partie vitrée.

En fait, la situation est plus compliquée et plus difficile à prévoir. Cela se comprend mieux si l'on examine de près la réalité physique : les ondes sonores incidentes mettent la feuille de verre en vibration; ces ondes de flexion induites dans le vitrage "butent" contre les bords de ce dernier et sont plus ou moins bien réfléchies. Les conditions extrêmes jouent un rôle déterminant, car elles sont fondamentalement différentes selon qu'on effectue des mesures en laboratoire sur le vitrage seul (scellé au mastic dans l'ouverture d'essai) ou que le vitrage soit disposé dans un châssis.

L'utilisation, dans une fenêtre, de panneaux plus légers que le verre conduit, dans bien des cas, à une isolation globale aux bruits aériens limitée.

Précisons à ce sujet que les dispositifs de ventilation (y compris les grilles de ventilation naturelle), s'ils sont bien conçus, n'affectent

(1) Le plus souvent, la lame d'air a une épaisseur de 12 mm; dans le cas des vitrages fabriqués en usine, elle ne dépasse guère les 20 mm, ce qui ne suffit pas pour ramener la fréquence de résonance sous les 100 Hz. Dans les basses, voire même dans les moyennes fréquences, les performances acoustiques des vitrages fabriqués en usine seront donc décevantes.

pas nécessairement les performances acoustiques de la façade. Pour plus d'informations en la matière, on consultera les Notes d'information technique n° 192 et 203 [1, 2].

## 1.1 ISOLATION AUX BRUITS AERIENS DE LA PARTIE "CHASSIS"

L'influence du châssis sur l'isolation acoustique globale dépend :

- ◆ des performances de la partie vitrée : plus celles-ci sont élevées, plus l'isolation aux bruits aériens risque d'être affectée, par exemple, par une isolation médiocre du châssis aux bruits aériens; par analogie, la résistance d'une chaîne est toujours limitée par le maillon le plus faible
- ◆ du rapport entre la surface du châssis et la surface totale de la fenêtre.

Dans tous les cas, une bonne étanchéité à l'air du châssis (aussi bien pour les parties ouvrantes que pour les parties fixes) est une condition *sine qua non* pour garantir de bonnes performances acoustiques. Des problèmes peuvent en effet se poser au niveau des joints (entre le vitrage et le châssis, entre ouvrant et dormant). Le bois a, par exemple, tendance à "travailler" (sous l'effet des variations de son taux d'humidité), quant aux châssis en aluminium et en matière plastique, ils sont sensibles aux sollicitations thermiques et au gauchissement éventuel des cadres. L'utilisation de joints d'étanchéité performants (éventuellement dédoublés) et de systèmes de fermeture à plusieurs points est recommandée pour tous les types de châssis. Les défauts d'étanchéité influencent l'isolation aux bruits aériens dans le domaine des hautes et même des moyennes fréquences. L'étanchéité du châssis peut facilement être contrôlée au moyen d'ultrasons. Nous reviendrons sur le sujet dans la troisième et dernière partie de l'article, à paraître dans un prochain numéro du magazine.

Il est particulièrement malaisé de déterminer l'isolation aux bruits aériens du châssis seul en laboratoire. On peut procéder de deux façons :

- ◆ soit en effectuant des mesures acoustiques traditionnelles (basées sur la détermination de la pression acoustique dans les locaux d'émission et de réception) tout d'abord sur la fenêtre (châssis équipé du vitrage spécifique), ensuite sur le vitrage seul
- ◆ soit en recourant à la mesure de l'intensité, qui consiste à masquer les parties vitrées à l'aide de contreparois. Cette technique est cependant plus difficile à appliquer [6].

Vu ces difficultés, la caractérisation acoustique des châssis est rarement traitée dans la documentation technique.

Nous pouvons néanmoins, dans le cadre de cet article, proposer quelques règles de base [5].

### 1.1.1 CONCEPTION DE FENETRES PRESENTANT UNE ISOLATION AUX BRUITS AERIENS DE $R_w < 35$ dB

Le châssis n'aura pas d'influence notable sur l'isolation globale de la fenêtre aux bruits aériens, à condition que :

- ◆ le rapport de sa surface à la superficie totale de la fenêtre soit inférieur à 30 %
- ◆ les châssis en bois aient une section d'au moins 55 à 60 mm de côté (selon la densité du matériau)
- ◆ l'on ait recours à des profilés en aluminium ordinaires (même dépourvus de coupure thermique)
- ◆ que l'on utilise de simples profilés en matière plastique.

### 1.1.2 CONCEPTION DE FENETRES PRESENTANT UNE ISOLATION AUX BRUITS AERIENS $35$ dB $< R_w < 40$ dB

Le châssis n'aura pas d'influence notable sur l'isolation globale de la fenêtre aux bruits aériens, à condition que :

- ◆ sa surface par rapport à la superficie totale de la fenêtre soit inférieure à 30 %; en cas de dépassement, il est très probable que l'on observe des performances beaucoup plus faibles pour les profilés de châssis proposés ci-après (guère plus de  $R_w = 35$  dB)
- ◆ l'on utilise des structures en bois lourdes constituées de profilés de plus de 75 mm de côté (selon l'espèce de bois concernée)
- ◆ l'on ait recours à des profilés en aluminium avec coupure thermique (celle-ci garantissant également une désolidarisation sur le plan acoustique)
- ◆ l'on fasse usage de profilés en plastique épais à renforts métalliques intégrés.

On peut donc en conclure que le recours aux vitrages acoustiques spéciaux lors de la conception des fenêtres requiert un choix approprié du châssis. L'emploi d'un vitrage acoustique spécial perd toute utilité lorsque la surface de la fenêtre est constituée pour plus de 40 % par le châssis.

### 1.1.3 CONCEPTION DE FENETRES PRESENTANT UNE ISOLATION AUX BRUITS AERIENS DE $R_w > 40$ dB

La réalisation des châssis pour ce type de fenêtre est spécifique à la conception de la fenêtre elle-même, pour laquelle nous renvoyons au point suivant.

## 1.2 CONCEPTION SPECIALE DE FENETRES A TRES HAUTE ISOLATION AUX BRUITS AERIENS

### 1.2.1 CHASSIS DOUBLE ( $R_w = 35$ à $\pm 45$ dB)

Cette réalisation relativement coûteuse (appelée également *Verbundfenster*) peut être constituée, par exemple, d'une fenêtre ouvrante sur laquelle est fixé un second châssis vitré (voir la figure 1). Pour l'utilisation normale de la fenêtre, on ouvre uniquement le châssis principal; le châssis "complémentaire" est simplement fixé sur l'ouvrant et ne se manipule que lors du nettoyage des faces des vitrages situées entre les deux châssis.

Cette conception autorise une épaisseur de lame d'air de 50 mm entre les deux vitrages. Si ces derniers sont suffisamment épais, on peut obtenir une résonance masse-ressort-masse inférieure à 100 Hz. Selon les dispositifs anti-vi-

brations mis en place entre les deux châssis (nombre de points de fixation, couche intercalaire élastique, ...), les profilés utilisés et l'étanchéité à l'air, on peut atteindre une isolation acoustique globale  $R_w$  de 35 à 45 dB maximum.

### 1.2.2 DOUBLE FENETRE ORDINAIRE ( $R_w = 45$ à $\pm 50$ dB)

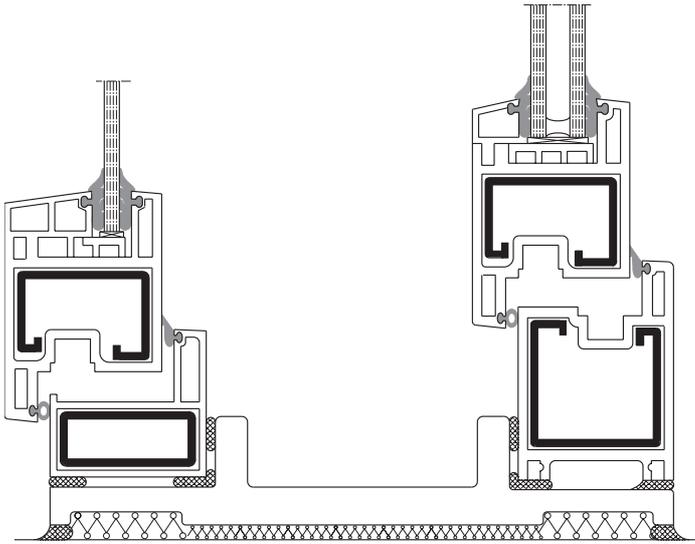
La fenêtre double se compose, comme son nom l'indique, de deux fenêtres placées en vis-à-vis, possédant chacune un châssis totalement distinct. Un exemple de réalisation de ce type est représenté à la figure 2.

L'isolation acoustique qu'il est possible d'atteindre, ainsi que ses limites dépendent :

- ◆ du concept de base (choix du vitrage, épaisseur de la lame d'air, ...); les fenêtres doubles conviennent pour des lames d'air d'épaisseur très importante, de sorte que, moyennant un choix judicieux des vitrages (cf. formule ci-dessous) <sup>(2)</sup>, la résonance masse-ressort-masse peut être ramenée largement en dessous de 100 Hz
- ◆ de l'isolation acoustique du cadre lui-même (masse, coupure thermique éventuelle, surface relative des éléments, ...) et en particulier de son étanchéité à l'air, qui doit être correctement assurée entre l'extérieur et la lame d'air et entre cette dernière et l'intérieur

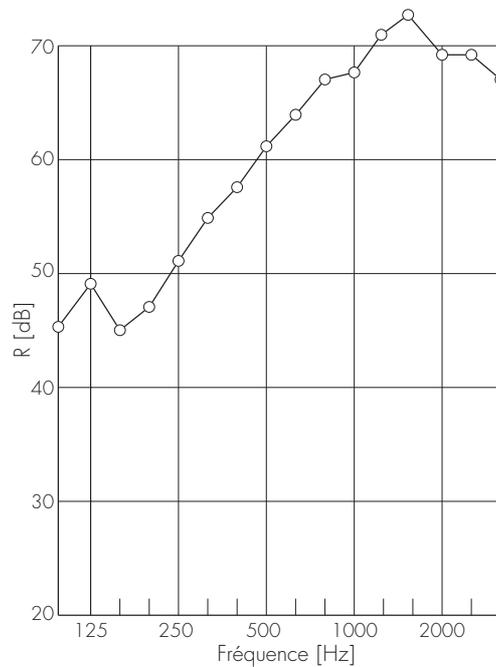
**Fig. 1** Châssis double ("Verbundfenster") en bois et en matière plastique (cotes en mm).

<sup>(2)</sup> Cette fréquence peut être obtenue par la formule  $f = c/2d$ , "d" étant la plus grande des dimensions suivantes : largeur de la lame d'air, largeur ou hauteur de la baie de fenêtre; "c" est la vitesse du son dans l'air à 20 °C. Pour cette fréquence, la largeur de la lame d'air est égale à la moitié de la longueur d'onde. On obtient alors une onde stationnaire caractérisée par une pression acoustique plus élevée dans la lame d'air, et une meilleure liaison entre les parois intérieure et extérieure.



**Fig. 2** Fenêtres doubles en bois et en matière plastique (cotes en mm).

- ◆ de l'épaisseur de la lame d'air : celle-ci étant très importante, il se produit, à partir d'une fréquence donnée (<sup>2</sup>), des résonances dans l'espace intercalaire, qui vont affecter l'isolation aux bruits aériens. L'apport, entre les deux châssis et à la périphérie de ceux-ci, d'un absorbant acoustique à facteur d'absorption élevé permettra de limiter ces résonances et de minimiser les pertes d'isolation acoustique, pour autant que l'épaisseur de la lame d'air soit supérieure à 40 mm
- ◆ de la jonction des deux châssis de fenêtre : celle-ci constitue la principale raison pour laquelle l'isolation acoustique ne dépasse généralement pas les 50 dB. Cette jonction doit être aussi élastique que possible (pour diminuer la transmission des vibrations), mais en même temps très étanche à l'air.



**Fig. 3** Fenêtre double à châssis indépendants (au niveau des murs également).

### 1.2.3 FENETRE DOUBLE AMELIOREE ( $R_w > 50$ dB)

Des performances très élevées peuvent être atteintes lorsque les châssis sont totalement désolidarisés. L'un d'eux est alors fixé sur une paroi, l'autre étant monté dans un mur totalement indépendant de la première paroi (voir la figure 3).

L'isolation aux bruits aériens n'est donc plus affectée par la liaison des châssis et peut être améliorée par tous les moyens possibles (par exemple : vitrages feuilletés épais, lames d'air importantes, absorption, ...). On peut ainsi obtenir une isolation acoustique très élevée, comme en témoignent les nombreux studios d'enregistrement où cette technique a été appliquée.

(cotes en mm)

## 2 BLOCS DE VERRE, PLAQUES DE POLYCARBONATE ET LANTERNEAUX

### 2.1 BLOCS DE VERRE [5]

Les blocs de verre permettent d'obtenir, à relativement peu de frais, des surfaces translucides offrant une isolation aux bruits aériens très élevée (comparativement aux fenêtres traditionnelles). Celle-ci peut varier entre  $R_w = \pm 39$  dB (pour les blocs de grand format) et  $\pm 45$  dB (pour les parois constituées de blocs de verre de petit format). En règle générale, on considère que plus le format des blocs de verre est réduit, meilleure est l'isolation aux bruits aériens de la paroi <sup>(3)</sup>.

Ceci peut s'expliquer comme suit : l'isolation aux bruits aériens d'une paroi constituée de blocs de verre est essentiellement définie par la loi de masse (voir la 1<sup>ère</sup> partie de cet article) [4]; malgré l'épaisseur de verre plus élevée pour les parois en blocs de verre de grand format (30 x 30 x 10 cm<sup>3</sup>), la masse surfacique reste inchangée, quel que soit le format des blocs de verre. La raison en est que la proportion des joints de mortier et des faces latérales en verre des blocs de petit format est plus élevée par rapport à la surface totale de la paroi. Partant de ces considérations, on pourrait supposer que l'isolation aux bruits aériens doit toujours être plus ou moins constante.

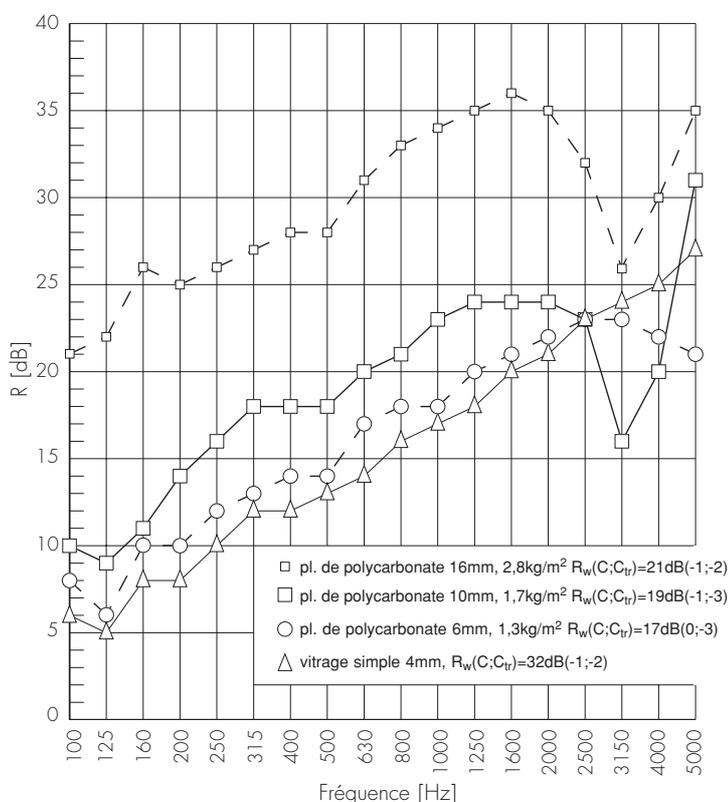
Cependant, le phénomène de coïncidence constitue, lui aussi, un facteur décisif. Les blocs creux (d'une grande rigidité) et relativement légers ont une fréquence de coïncidence qui varie entre 1200 Hz (grands blocs de verre de 30 x 30 x 10 cm<sup>3</sup> pour une épaisseur de 9 à 12 mm) et 1500 Hz (blocs plus petits de 19 x 19 x 8 cm<sup>3</sup> pour une épaisseur de 6 à 9 mm).

L'isolation aux bruits aériens d'une paroi constituée de blocs de verre peut encore être sensiblement améliorée par la pose d'un vitrage simple supplémentaire devant la paroi. Cette technique peut se révéler intéressante dans le cas des ateliers qui, pour des raisons d'environnement, requièrent une isolation élevée vis-à-vis des bruits aériens rayonnant à l'extérieur. Un vitrage de 6 mm placé à 20 cm d'une paroi en blocs de verre (format 30 x 30 x 10 cm<sup>3</sup>) avec un habillage périphérique réalisé au moyen d'un produit très absorbant permet d'obtenir une isolation aux bruits aériens pouvant atteindre 53 dB.

### 2.2 PLAQUES DE POLYCARBONATE ET LANTERNEAUX

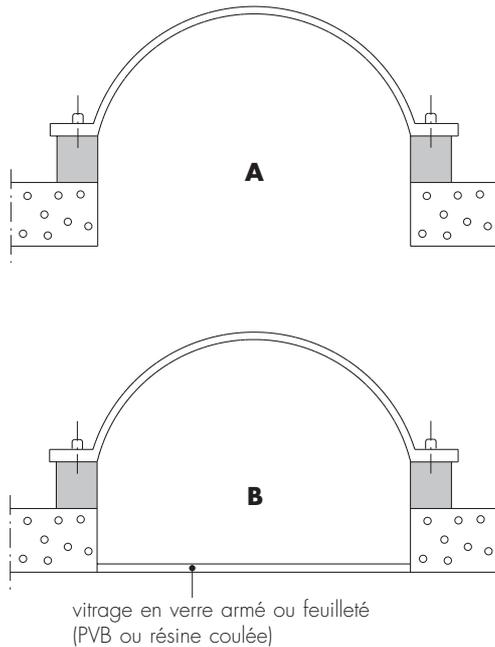
La masse surfacique restreinte des plaques planes en polycarbonate (entre 1,3 et 2,8 kg/m<sup>2</sup>) conduit à une très faible isolation vis-à-vis des bruits aériens. La figure 4 montre les courbes d'isolation acoustique obtenues avec des plaques de polycarbonate d'épaisseurs différentes et un vitrage simple de 4 mm. La grande rigidité par rapport à la masse surfacique provoque, dans le cas du matériau plus épais, une chute importante de l'isolation due à la coïncidence située dans le domaine des hautes fréquences.

Utilisés dans des ateliers, les lanterneaux peuvent constituer une source importante de rayonnement sonore vers le milieu extérieur. La figure 5 propose des solutions susceptibles d'apporter une nette amélioration de l'isolation vis-à-vis des bruits aériens. Si la face inférieure du lanterneau est réalisée au moyen d'un

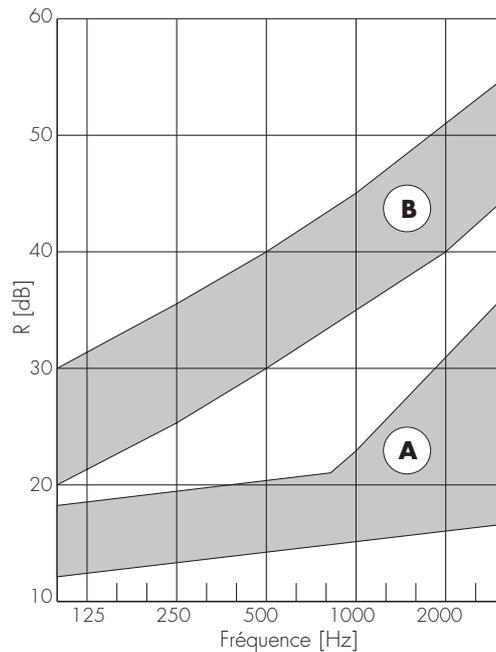


**Fig. 4** Isolation aux bruits aériens des plaques de polycarbonate, comparée à celle d'un simple vitrage de 4 mm.

<sup>(3)</sup> Toutefois, les performances d'isolation thermique seront souvent plus faibles avec des blocs de verre de format réduit [3].



**Fig. 5** Isolation aux bruits aériens des coupoles et lanterneaux en matière plastique.



vitrage, ce dernier devra impérativement être en verre feuilleté (PVB ou résine coulée) ou en verre armé (pour garantir la sécurité en cas de bris de vitre).

### 3 FENETRES INCLINÉES ET BRUIT D'IMPACT DE LA PLUIE

L'apport de lumière naturelle représente un atout architectural appréciable dans un bâtiment. Nombre d'édifices, anciens ou modernes, équipés de verrières ou de lanterneaux perdent une part de leur qualité architecturale parce que le bruit d'impact de la pluie ou de la grêle sur le vitrage vient perturber les conversations, le léger bruit de fond ou simplement l'ambiance de l'espace occupé.

Vis-à-vis de ce type de bruit, un vitrage n'offre pas de protection phonique, mais constitue au contraire une source de nuisance, car les feuilles de verre mises en vibration par l'impact de la pluie ou de la grêle rayonnent le bruit dans l'espace qu'elles surplombent.

Autrefois, ce problème était généralement résolu par la réalisation d'une seconde verrière ou d'un second lanterneau du côté intérieur. Cette "paroi" supplémentaire formait ainsi, par rapport à l'espace qu'elle abrite, un écran acoustique contre le bruit d'impact rayonné par la toiture ou le lanterneau extérieurs. Une telle construction n'est toutefois envisageable que si l'on peut se contenter d'une lumière naturelle diffuse à l'intérieur des locaux. Dans le cas où l'architecture exige une clarté et une

transparence parfaites (telles qu'on puisse voir nettement les façades voisines, par exemple), il faudra alors se rallier au choix de la verrière ou du lanterneau simple, qu'il conviendra cependant de réaliser à l'aide d'un vitrage qui rayonne le moins possible les bruits d'impact vers les espaces intérieurs.

Le laboratoire du département de physique du bâtiment, à la *K.U. Leuven*, a mené une campagne d'essais sur différents types de vitrages arrosés par une pluie créée artificiellement. Les résultats de mesure ont fait apparaître que le rayonnement du bruit était très variable selon le type de vitrage testé.

La comparaison entre les simulations théoriques et les valeurs mesurées a permis d'expliquer ces disparités parfois importantes. Grâce à une bonne corrélation des valeurs mesurées et des simulations théoriques, ces dernières offrent la possibilité d'établir des prévisions acceptables pour des vitrages non testés en laboratoire.

Les résultats d'essais sont mentionnés au tableau 1 (p. 32) [6] et sont repris, à la figures 6 (p. 32), sous forme de graphiques par bande d'un tiers d'octave.

Dans le cas du vitrage simple, le verre feuilleté se comporte nettement mieux que le verre ordinaire. Si le vitrage feuilleté avec du PVB offre des performances supérieures de 5 dB(A) par rapport au vitrage simple ordinaire de même épaisseur totale, l'écart se monte à 10 dB(A) pour le vitrage feuilleté avec de la

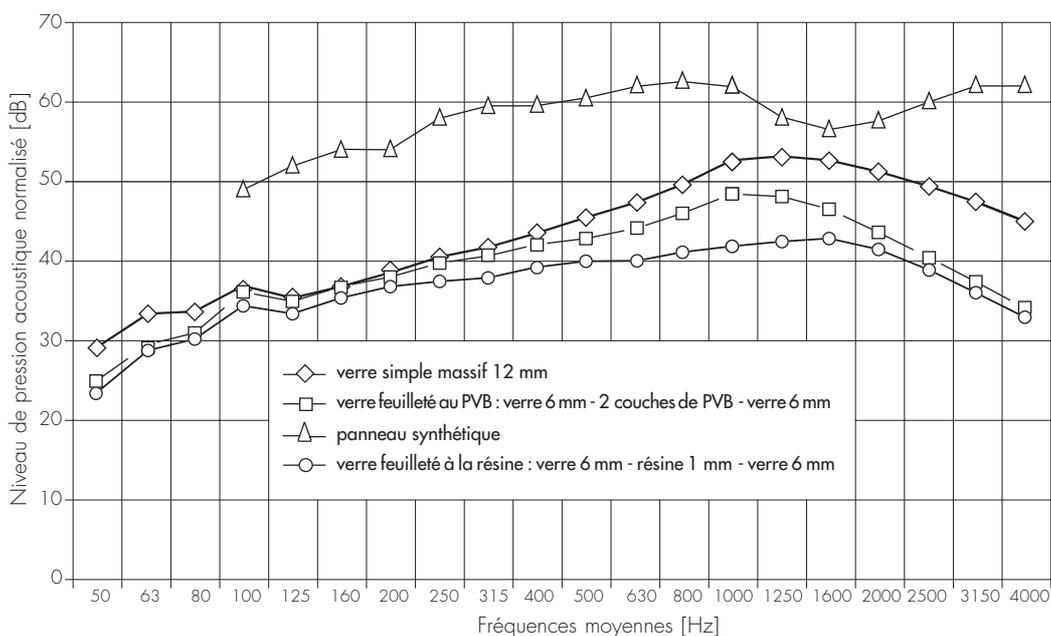
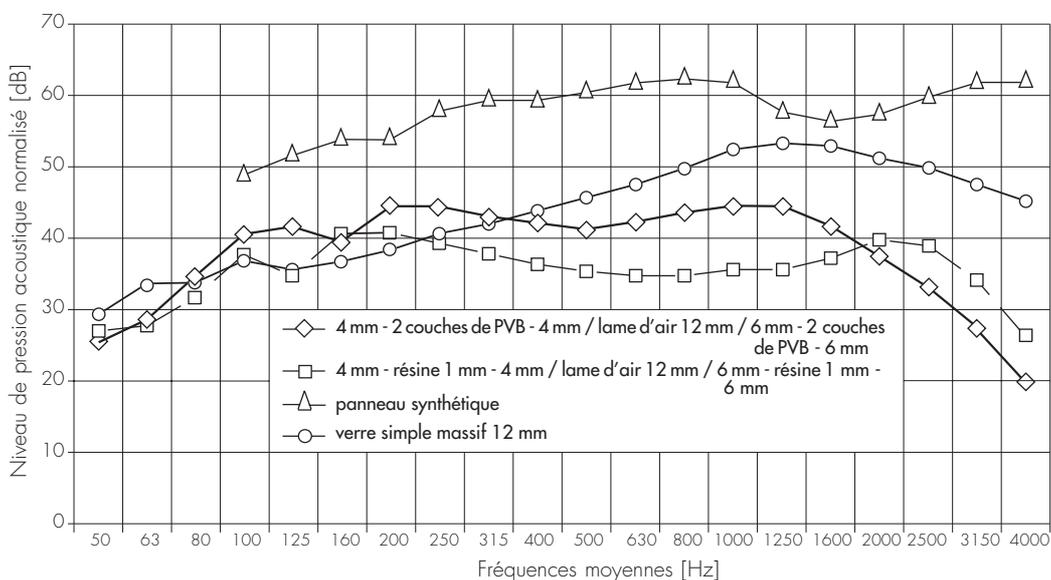
**Tableau 1**

Mesures en laboratoire du bruit d'impact de la pluie sur les vitrages [6].

TYPE DE VITRAGE	$L_{pn}$ (A) (*)
Vitrage simple, feuilleté ou non : verre simple 12 mm 6 mm - 2 couches PVB - 6 mm 6 mm - résine coulée - 6 mm	60,9 dB(A) 55,1 dB(A) 50,9 dB(A)
Double vitrage thermique en verre feuilleté : 4 mm - 2 couches PVB - 4 mm / 12 / 6 mm - 2 couches PVB - 6 mm 4 mm - résine coulée - 4 mm / 12 / 6 mm - résine coulée - 6 mm	51,4 dB(A) 45,0 dB(A)

(\*) Niveau de pression acoustique pondéré A (période de mesure égale à 30 minutes), normalisé à partir d'une surface d'absorption de 10 m<sup>2</sup> dans le local de réception. Pendant les mesures, une pluie artificielle d'une intensité continue de 50 l/m<sup>2</sup>h est projetée à l'aide d'arroseurs orientés vers le haut, de telle façon que les gouttes d'eau tombent librement d'une hauteur d'environ 3 m.

**Fig. 6**  
Comparaison des résultats d'essais du bruit d'impact de la pluie pour différents types de vitrages.



résine coulée ou du PVB amélioré, ce qui correspond à une diminution de moitié du bruit par rapport au simple vitrage ordinaire.

De même, pour le double vitrage thermique composé de verre feuilleté, la résine et le PVB amélioré se révèlent jusqu'à 6 dB(A) plus efficaces que le PVB ordinaire. C'est ainsi que le bruit d'impact de la pluie est maintenu à un niveau plus ou moins acceptable.

Sur le vitrage simple massif, l'énergie cinétique générée par l'impact des gouttes d'eau provoque le rayonnement du bruit. Sur les vitrages feuilletés, l'impact est moins bien transmis à la feuille de verre inférieure, de sorte que le rayonnement vers les espaces intérieurs est atténué. Comparés au PVB traditionnel, la résine et le PVB amélioré forment une couche intercalaire moins rigide et plus amortissante, dissipant ainsi davantage l'énergie cinétique.

Pour des raisons de sécurité, la feuille de verre inférieure des vitrages surplombant des lieux de séjour ou de travail doit être feuilletée. Dans ce cas, l'atténuation n'est pas identique à toutes les fréquences. On obtient le gain le plus faible dans les basses fréquences (figure 6). Le résultat est optimal dans les hautes fréquences,

et en particulier autour de la fréquence limite, de sorte que la pluie tombant sur un vitrage de ce type produit un bruit moins désagréable, car moins fort et plus sourd.

En laboratoire, on a également testé l'effet produit par un vitrage placé à l'envers, avec la vitre feuilletée du côté supérieur. Il est apparu que le niveau de bruit diminuait dans l'ensemble des fréquences. Bien que le niveau de pression acoustique global y était moins élevé que dans la situation précédente (plus réaliste), le bruit était plus aigu, si bien que, sur le plan de la perception subjective, cette solution n'est pas plus avantageuse.

Pour obtenir un résultat optimal, il est possible de combiner les améliorations évoquées ci-dessus en plaçant du vitrage feuilleté (résine coulée ou PVB amélioré) tant du côté intérieur que du côté extérieur. Le niveau de pression acoustique et la perception subjective sont ainsi considérablement réduits <sup>(4)</sup>. ■

<sup>(4)</sup> Extrait du texte d'accompagnement du CD "Vitrages acoustiques" de Saint-Roch, élaboré avec le concours du bureau d'étude de physique du bâtiment *Daidalos* (e.a. avec Pol Mees qui a participé au projet de recherche de G. Vermeir, prof. dr. ing., de la K.U. Leuven).

*Les deux premiers volets de cet article traitaient exclusivement des informations fournies dans la documentation technique des produits et basées sur les mesures effectuées par les laboratoires acoustiques. Dans le troisième et dernier volet, nous étudierons les aspects liés à la conception et au placement des fenêtres, et nous commenterons quelques problèmes auxquels on peut être confronté : défaut d'étanchéité à l'air, phénomènes de coïncidence (comme le "sifflement" du verre), augmentation de la transmission latérale du bruit, etc.*

## BIBLIOGRAPHIE

**1** Centre scientifique et technique de la construction

La ventilation des habitations. 1<sup>ère</sup> partie : principes généraux. Bruxelles, Note d'information technique, n° 192, juin 1994.

**2** Centre scientifique et technique de la construction

La ventilation des habitations. 2<sup>e</sup> partie : mise en œuvre et performances des systèmes de ventilation. Bruxelles, Note d'information technique, n° 203, mars 1997.

**3** De Schrijver B., Lassoie L. & Martin S.  
Parois extérieures en blocs de verre. Bruxelles, CSTC-Magazine, hiver 1996.

**4** Ingelaere B.

Isolation acoustique des fenêtres. Application de la norme EN ISO 717-1 : 1996. 1<sup>ère</sup> partie : performances acoustiques du vitrage. Bruxelles, CSTC-Magazine, printemps 1998.

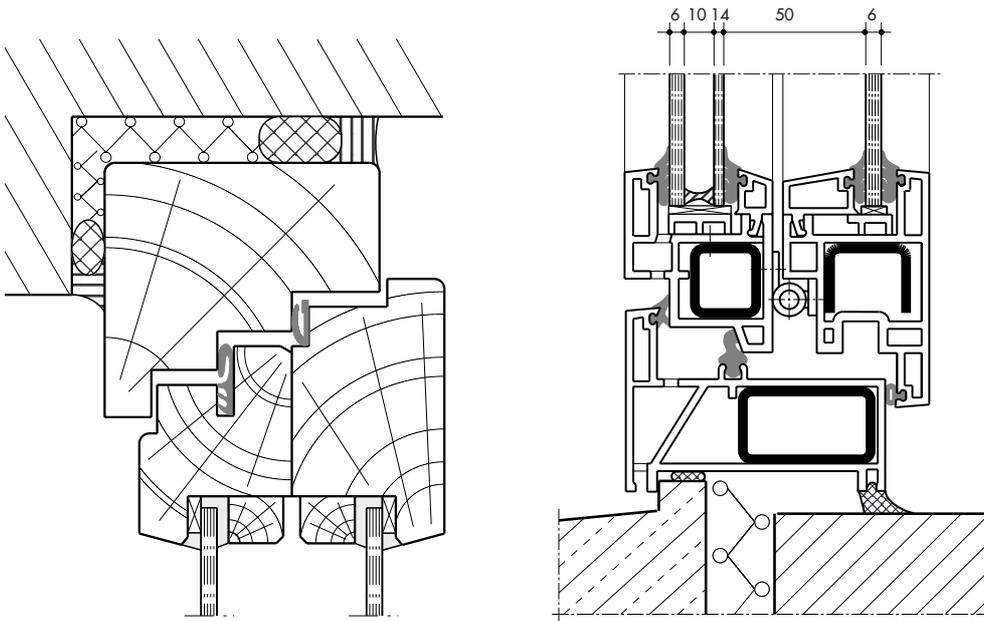
**5** Sälzer, Moll & Wilhelm

Schallschutz elementierter Bauteile. Wiesbaden-Berlin, Bauverlag GmbH, 1979.

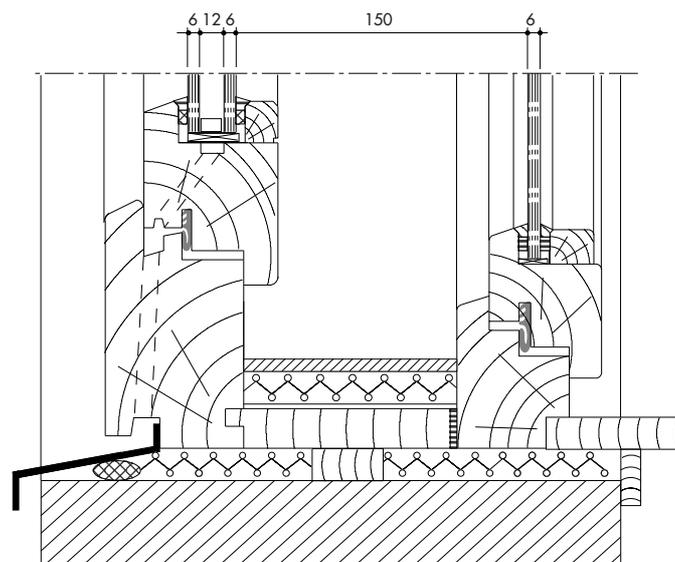
**6** Vermeir G.

Glas en de beperking van de geluidtransmissies. Anvers, KVIV, Innovatie in de bouwen constructietechniek, Deel II, Actuele problemen - Praktijkoplossingen, pp. 111-125, 1997.

**FIG 1A+B,  
P. 28**



**FIG 2B,  
P. 29**



**FIG 3B,  
P. 29**

