

Intégration de la ventilation naturelle en façade de bâtiment

Jean-Philippe Migneron

Groupe de recherche en ambiances physiques
École d'architecture
Université Laval
1, côte de la Fabrique
Québec, Qc
Canada, G1K 7P4
E-mail : jean-philippe.migneron.1@ulaval.ca

Résumé

Les nouvelles tendances dans le monde de la construction se tournent vers le bâtiment éco-énergétique. En Amérique du Nord, l'utilisation et la vérification des récentes normes en matière de développement durable deviennent choses communes. Parmi les multiples possibilités d'augmentation de l'efficacité des édifices, il est maintenant reconnu que l'utilisation de la ventilation naturelle permet de diminuer la consommation et d'accroître la satisfaction des occupants. L'intégration de la fenestration et des ouvertures d'aération en façade demeure cependant un défi, lorsqu'on considère la nécessité d'atténuer le bruit urbain à travers l'enveloppe du bâtiment. Dans le cadre d'un projet de recherche, différents dispositifs ont été testés expérimentalement par rapport à leurs capacités de réduire la transmission du bruit et de permettre un échange d'air frais. Notamment, une fenêtre coulissante double et un prototype d'aérateur passif ou mécanisé ont fait l'objet de mesures détaillées d'isolation acoustique et de comportement aéraulique sous différentes pressions.

L'intérêt pour la ventilation naturelle ou pour les systèmes hybrides étant croissant, la question de l'isolement acoustique devient un élément très important lors de la conception de l'enveloppe des bâtiments. En Amérique du Nord, par exemple, une grande partie des nouveaux projets de construction cherche à obtenir la certification LEED. Puisque la ventilation naturelle, ou sa combinaison avec des équipements mécaniques pour former un système hybride, permet une réduction de la consommation énergétique [1], ainsi qu'une augmentation de l'impression de confort des occupants [2], il est de plus en plus recommandé que ces techniques soient prises en compte lors de l'évaluation des critères de performance.

L'ajout d'ouvertures en façade d'édifice ne se conjugue pas nécessairement avec la qualité de l'environnement acoustique régnant à l'extérieur, comme c'est généralement le cas en milieu urbain ou à proximité des voies de transport. Cette situation amène donc de sérieuses contraintes pour les constructeurs qui veulent maximiser les performances de leurs réalisations : il faut trouver des solutions qui répondent correctement à chaque élément affectant le confort, tout en demeurant rentable économiquement. D'ailleurs, C. Field décrit bien l'interaction entre l'acoustique et la conception architecturale [3]. Cette préoccupation a servi de point de départ pour un projet de recherche axé sur les possibilités menant à une intégration efficace de la ventilation naturelle en façade, tant d'un point de vue acoustique, que thermique ou architectural.

Plusieurs chercheurs abordent le sujet selon diverses approches. Les connaissances concernant la transmission du bruit à travers les fenêtres ouvertes sont assez bien appuyées [4,5,6]. Plusieurs idées innovatrices ont été proposées, comme l'utilisation de films microperforés [7] ou l'ajout de système d'atténuation active du bruit [8]. Néanmoins, les résultats demeurent assez variables et l'intégration de celles-ci nécessiterait encore des efforts de recherche et développement. Il semble, selon M. H. F. De Salis, que la solution idéale combinerait plusieurs techniques d'atténuation du bruit [9].

Dans le cadre du présent projet de recherche, deux premières possibilités ont été analysées, soit une fenêtre à double paire de vitrages coulissants, ou un dispositif d'aération intégré dans l'épaisseur de la façade. En plus d'offrir de bonnes performances au niveau thermique, de tels assemblages présentent un avantage, puisque plusieurs configurations d'ouverture sont envisageables.

Procédures de mesure

L'ensemble des mesures a été réalisé au Laboratoire d'Acoustique de l'Université Laval, à Québec (Canada). Ce dernier est équipé de deux chambres réverbérantes, respectivement de 60 et 200 m³, séparées par une ouverture de 7,9 m². La figure 1 illustre la disposition du laboratoire pour les tests.

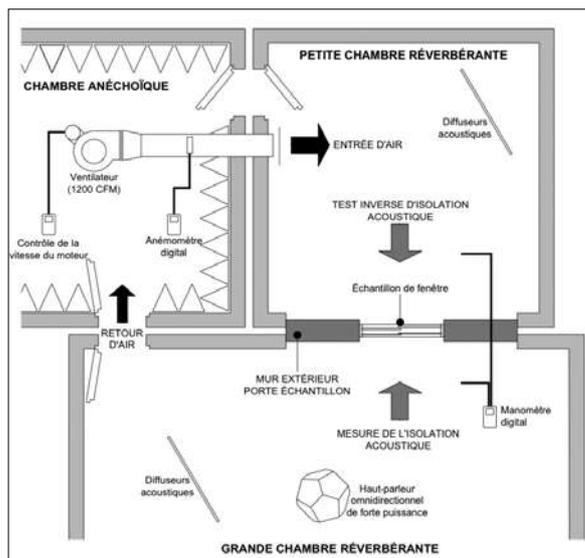


Fig. 1 : Aménagement du laboratoire pour la réalisation des mesures d'isolation et de débits d'air

Sur cette figure, on peut noter que pour ce projet, un système de ventilation a été ajouté aux installations existantes. Un mur porte-échantillon a été ensuite installé dans l'espace de transmission afin de recevoir tant la fenêtre que le dispositif d'aération dissimulé. Pour permettre de tester différents échantillons, un cadre fixe a été scellé dans le mur de façade. La fenêtre a d'abord été positionnée dans son cadre fixe, puis le dispositif a été inséré dans l'allège de la fenêtre.

Les mesures d'isolation acoustique ont été réalisées grâce à une source omnidirectionnelle de bruit rose placée dans la grande chambre réverbérante, en accord avec la norme ASTM E90 [10]. Les acquisitions de niveaux de pression ont été effectuées avec un analyseur acoustique temps réel multicanal. Les indices normalisés de transmission du bruit (STC) ont été compilés pour chacune des configurations selon la norme ASTM E413 [11].

Pour l'évaluation des capacités d'échange d'air à travers les éléments de façade, un ventilateur (d'une capacité maximale de 825 l/s) a été employé pour créer une circulation d'air entre les chambres d'essais. De cette manière, il est possible d'obtenir un environnement pressurisé contrôlé dans la petite salle réverbérante, où se trouve le côté extérieur de la façade. Des mesures de débits d'air à pression constante, la régulation se faisant sur la vitesse du ventilateur, ont été notées grâce à un anémomètre et un micro-manomètre numérique. Cette procédure déjà employée par C. Buratti pour une étude comparable [12, 13], suit en partie la norme ASTM E779 [14].

Enfin, des tests de réciprocité ont été effectués, afin de vérifier que la transmission du bruit se faisait de manière symétrique dans les deux sens de propagation. Il s'avère effectivement que la plupart des résultats sont similaires, les différences demeurant sous les marges d'incertitude.

Description des échantillons

Mur résidentiel porte-échantillon

Pour le mur porte-échantillon, une construction de type résidentielle a été choisie, car elle est assez représentative de

la construction nord-américaine et s'appuie sur une conception à haute efficacité énergétique. La division est donc constituée d'une structure en bois de 140 mm, remplie de laine de verre, couverte des deux côtés par des matériaux isolants (panneaux de fibres de bois, isolant extérieur à forte perméance, coupe-vapeurs) et complétée par un système de briques sans mortier (136 kg/m²) à l'extérieur et de plaques de plâtre de 16 mm à l'intérieur (13 kg/m²).

Il est à noter que la structure a été prévue pour être facilement modifiable, afin de procéder à l'ajout du dispositif intégré.

Fenêtre coulissante à triple verre

L'échantillon de fenêtre correspond à un modèle de fabrication mixte, c'est-à-dire un cadre structural en bois recouvert complètement de plastique (PVC). Il s'agit d'un type de fenêtre assez commun en construction résidentielle, qui est largement distribué et relativement économique. Les dimensions du cadre sont de 1 225 x 1 225 mm, ce qui correspond à une surface de 1,50 m².

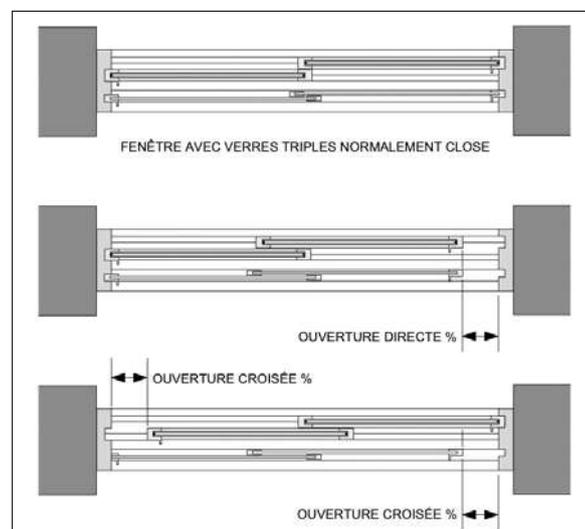


Fig. 2 : Configurations d'ouverture (fermée, directe, en chicane) de la fenêtre coulissante à triple verre

La fenêtre est composée de quatre panneaux coulissants au total. Du côté extérieur se trouve une paire d'unités scellées munies de verres de 3,2 mm d'épaisseur et d'une lame d'air de 15,9 mm. À l'intérieur, une paire de verres simples de 4,8 mm d'épaisseur constitue la troisième couche vitrée. Tel que mentionné précédemment, un assemblage de ce type offre de bonnes performances pour l'isolation thermique et permet une multitude d'ajustements de l'ouverture de la fenêtre. Comme le montre la figure 2, le passage de l'air peut être direct (avec les panneaux entr'ouverts du même côté) ou le passage de l'air peut se faire en chicane, entre les panneaux de verres simples et scellés.

Pour la présente étude, trois différentes épaisseurs de la lame d'air séparant les deux paires de panneaux mobiles ont été évaluées, soit de 15 à 155 mm. Cet espace n'est cependant pas uniforme, car le croisement des panneaux mobiles avec leurs cadrages respectifs réduit partiellement la section du passage de l'air.

Dispositif d'aération intégré

Le dispositif d'aération intégré est un prototype développé pour permettre une atténuation significative du bruit à travers une ouverture destinée à la ventilation naturelle. Dans un premier temps, il était nécessaire de créer un modèle de base, afin d'en estimer les performances par une réduction passive du bruit. Un conduit d'aération a donc été conçu pour s'insérer verticalement dans le mur porte-échantillon. Les dimensions maximales de l'ouverture mesurent 506 x 140 mm, mais la surface libre pour la circulation de l'air est réduite proportionnellement à l'ajout de matériel absorbant, soit un coussin de laine de verre à haute densité.

Un total de six configurations de divisions absorbantes a été testé dans le conduit vertical du dispositif. Le tableau 1 illustre l'agencement du matériel absorbant, de même que le pourcentage d'ouverture correspondant. À chaque modification, le mur en plaques de plâtre a été refermé du côté intérieur.

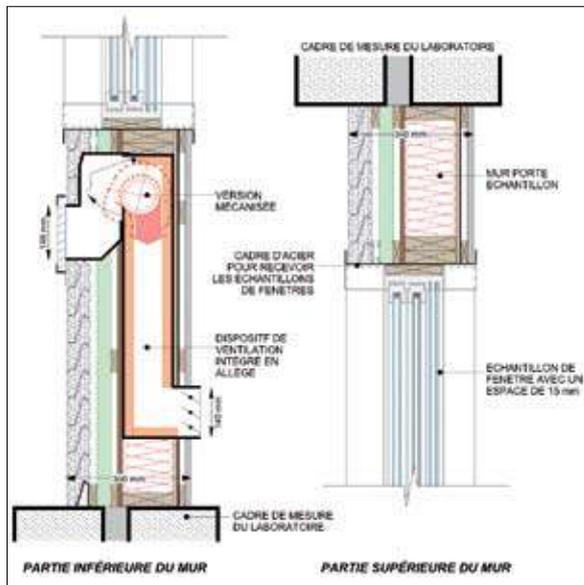


Fig. 3 : Installation du dispositif d'aération intégré dans le mur porte-échantillon

N°	Configuration	% d'ouverture	épaisseur d'air (L/A)	STC
0		100%	158	25
1		81%	137	31
2		62%	132	34
3		57%	122	35
4		51%	121	35
5		46%	124	37
6		38%	123	39

Tabl. 1 : Configurations du matériel absorbant dans le dispositif d'aération intégré et résultats correspondants

Réduction du bruit

Mur résidentiel porte-échantillon

Une première étape importante concerne l'évaluation de l'isolation acoustique de la façade résidentielle servant de porte-échantillon. Le mur à structure de bois muni d'un parement en brique sans mortier obtient un indice d'isolation STC de 49 (spectre à la partie supérieure de la figure 6). Il est à noter que ces tests ont été accomplis avec un mur uniforme, avant l'ajout du cadre fixe ou du dispositif intégré.

Fenêtre coulissante triple

En tout, l'échantillon de fenêtre coulissante à triple épaisseur de verre a fait l'objet de quatre séries de mesures : avec une ouverture directe, ou des ouvertures en chicane de 15, 80 et 155 mm. Dans chaque cas, plusieurs pourcentages d'ouverture ont été comparés jusqu'à atteindre l'ouverture maximale limitée par les pièces de cadrage. La figure 4 montre les résultats expérimentaux obtenus pour les indices d'isolation STC.

Une des hypothèses de travail voulait que l'augmentation de l'épaisseur de la lame d'air séparant les deux paires de panneaux mobiles permette une augmentation du niveau d'isolation. Il est donc intéressant de remarquer que la fenêtre complètement fermée avec une lame d'air minimale de 15 mm offre un indice STC de 36, tandis qu'elle passe à 40 pour les lames d'air de 80 et 155 mm. L'unité scellée seule n'obtient comparativement qu'un indice STC de 26. Ces résultats sont intéressants pour une fenêtre économique de type résidentiel, qui conviendrait donc pour des façades exposées à des niveaux de bruit de modérés à forts. La procédure de mesure a été répétée, pour enregistrer les niveaux de pression et compiler les indices normalisés selon les pourcentages d'ouverture de la fenêtre.

Évidemment, l'isolation diminue significativement dès que la fenêtre est entrouverte, mais il demeure une certaine isolation minimale dans le cas des ouvertures en chicane. En effet, les indices STC dépassent encore une valeur de 12 (18 pour une lame d'air de 15 mm), même lorsque la fenêtre est ouverte en position maximale. De plus, il a déjà été démontré qu'une ouverture en chicane comparable permettait de réduire la dynamique du bruit transmis de l'ordre de 2,4 dB (A) en moyenne [15]. Cette compression peut être appréciable pour le confort des occupants, puisqu'il a été prouvé qu'une partie des gens est plus sensible aux pointes de bruit qu'aux niveaux continus [16].

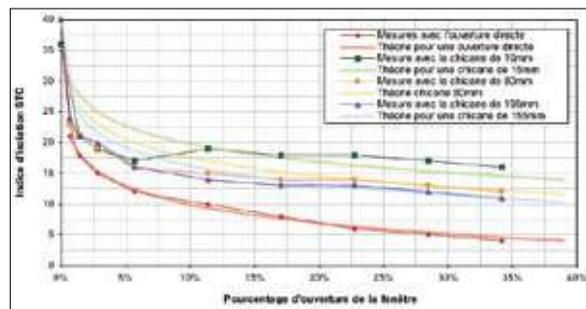


Fig. 4 : Isolation normalisée de la fenêtre en fonction de l'ouverture et de la configuration de la chicane, avec les courbes estimées théoriquement

Comme le montre la figure 4, les courbes d'isolation en fonction de l'ouverture semblent suivre une certaine tendance. Une corrélation peut être établie entre les résultats expérimentaux et une analyse théorique basée sur les facteurs de transmission correspondants à chacune des parties vitrées (constantes attribuables à l'échantillon de fenêtre). La figure 4 juxtapose les données expérimentales aux valeurs obtenues par les équations 1 à 4, en annexe (avec $\tau_{\text{directe}} = 1$ et $\tau_{\text{simple}} = 0,1$). La variable indépendante reste le pourcentage d'ouverture de la fenêtre (noté %). Selon la configuration, la courbe est influencée en partie par un flux de transmission directe modulé par le pourcentage d'ouverture. Pour l'ouverture directe, la concordance est très bonne. Il en est de même dans le cas des chicanes, sauf que les ouvertures inférieures à 10% indiquent en pratique des niveaux d'isolation moindres. Ces différences s'expliquent par le fait que l'analyse sommaire ne tient pas compte de l'espace résiduel entre les panneaux coulissants lorsqu'ils sont entrouverts.

Dispositif d'aération intégré

Tel que mentionné précédemment, le dispositif d'aération intégré a été testé avec diverses configurations de matériaux absorbants dans sa partie verticale. Comme dans le cas de la fenêtre entrouverte, les niveaux d'isolement tendent à augmenter lorsque le pourcentage d'ouverture diminue. Le tableau 1 présente les différents résultats obtenus pour ce dispositif. Il est pertinent de noter que le mur porte-échantillon équipé de l'aérateur complètement ouvert procure un indice d'isolation de 25, alors qu'il augmente à 39 pour la configuration n°6. Dans l'ensemble, les résultats avec le dispositif ouvert pour la ventilation naturelle atteignent des valeurs comparables à celles d'une fenêtre fermée.

Capacités d'échange d'air

Fenêtre coulissante triple

Il faut premièrement noter que toutes les mesures d'échange d'air ont été accomplies dans un environnement comparable en température, humidité et pression statique extérieure. Les courbes mettant en relation la pression statique entre les deux côtés de la façade testée et les débits d'air ont été enregistrées pour différents pourcentages d'ouverture de la fenêtre et selon chaque configuration. La figure 5 compare les résultats obtenus à une pression de 10 Pa, ce qui correspond approximativement à la force créée par des vents modérés. Il faut remarquer cependant que les acquisitions sont limitées par la capacité du ventilateur pour les grands pourcentages d'ouverture de la fenêtre. Dans le cas des circulations d'air en chicanes, un certain plateau est atteint à cause de la contrainte de section séparant les deux paires de panneaux coulissants (en particulier avec la chicane de 15 mm, dont la section est limitée à 0,015 m² lorsque les cadrages se croisent).

Dispositif d'aération intégré

La même procédure a servi à vérifier le comportement aérodynamique du dispositif intégré. Le tableau 1 en résume les résultats obtenus à une pression différentielle de 10 Pa.

Complémentairement, un petit ventilateur centrifuge a été ajouté à l'intérieur de l'aérateur. L'objectif visait à permettre un échange d'air en l'absence de pression différentielle sur la façade, soit sans vent. Les résultats donnent un débit d'air supplémentaire d'environ 100 l/s et une isolation acoustique comparable à celle de la configuration n°4 (en incluant le bruit du ventilateur situé immédiatement après le volet d'admission d'air extérieur).

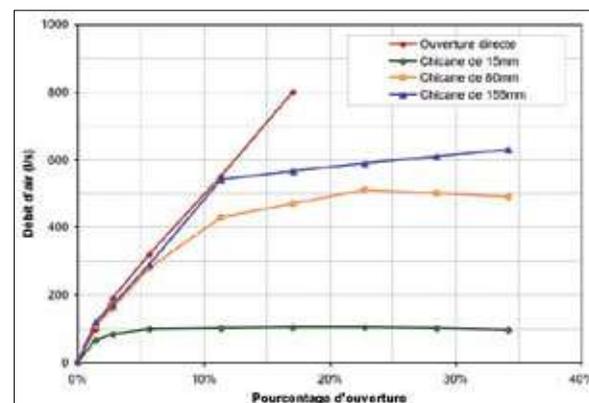


Fig. 5 : Comparaison des débits d'air sous une pression de 10 Pa, pour différentes ouvertures de la fenêtre

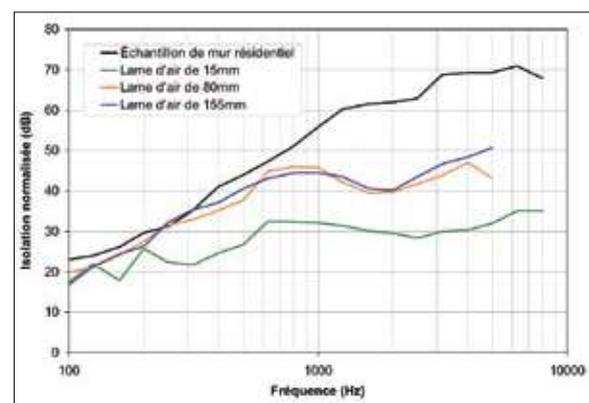


Fig. 6 : Spectres d'isolation normalisée du mur et de la fenêtre fermée, avec des lames d'air de 15, 80 et 155 mm

Analyse comparative des résultats

Analyse des isolations par bandes au tiers d'octave

Toutes les mesures d'isolement ont été réalisées par bandes au tiers d'octave. De manière générale, la réduction des niveaux de bruit dans les basses fréquences ne varie pas selon le pourcentage d'ouverture, tandis qu'elle a tendance à croître pour les fréquences plus aiguës. Les figures 6, 7 et 8 présentent quelques comparaisons des spectres d'isolation normalisée pour les différentes configurations présentées.

Pour les résultats avec la fenêtre fermée, on remarque, à la figure 6, l'impact significatif de l'épaisseur de la lame d'air entre les paires de vitrages sur l'isolation acoustique. Il semble, par ailleurs, que les lames d'air de 80 et 155 mm aient un comportement similaire à ce point de vue.

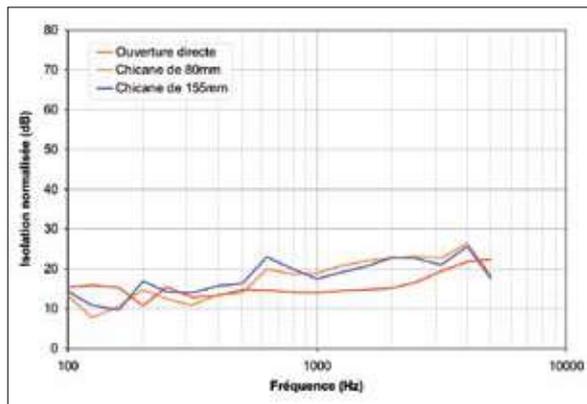


Fig. 7 : Spectres d'isolation normalisée de la fenêtre ouverte avec un débit d'air d'environ 200 l/s sous 10 Pa, pour la fenêtre ouverte directement ou avec des chicanes de 80 et 155 mm

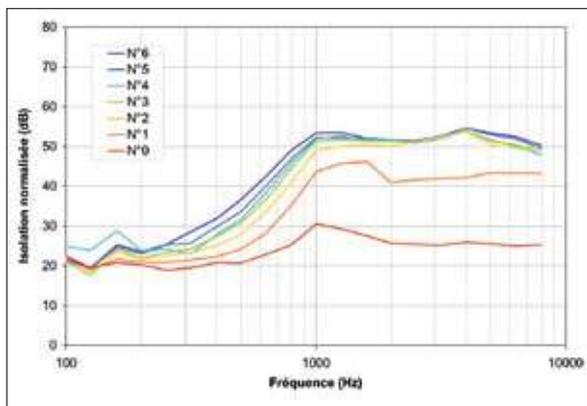


Fig. 8 : Spectres d'isolation normalisée pour les différentes configurations du dispositif d'aération intégré

À propos de la figure 7, qui compare les isolations mesurées pour la fenêtre ouverte avec un débit d'air d'environ 200 l/s sous 10 Pa, on notera que ce débit d'air ne peut être obtenu en chicane avec un espacement des verres de 15 mm.

Corrélation entre les capacités d'échange d'air et les niveaux d'isolation acoustique

Les mesures de débit d'air ont été relevées en fonction du pourcentage d'ouverture, tout comme les mesures d'isolation acoustique. Il est donc possible d'établir une corrélation entre les performances acoustique et aéraulique, pour une pression différentielle et une configuration donnée.

La figure 9 montre une tendance régulière dans le cas simple de la fenêtre avec une ouverture directe. Comme il est expliqué à la section « Fenêtre coulissante triple » avec l'équation 2 (voir annexe), la relation correspond bien à la théorie des flux de transmission sonore. Pour les ouvertures en chicanes de 80 et 155 mm, les tendances sont comparables, avec cependant des indices d'isolation supérieurs d'environ 4 dB. La corrélation est moins significative pour l'ouverture en chicane de 15 mm, car elle présente une importante limitation du débit d'air du fait de la faible section entre les paires de panneaux mobiles.

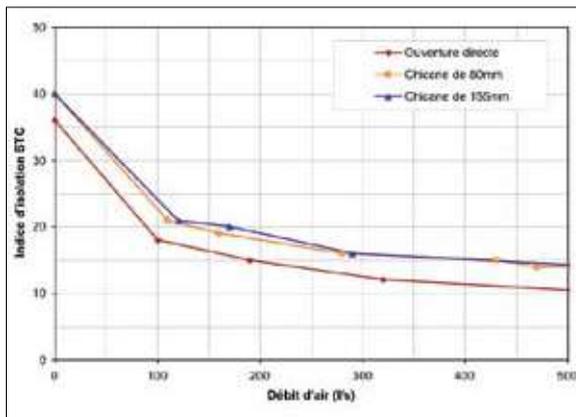


Fig. 9 : Corrélation entre les niveaux d'isolation et les débits d'air à 10 Pa, pour la fenêtre ouverte directement ou avec des chicanes de 80 et 155 mm

Par ailleurs, les résultats pour le dispositif intégré se distinguent avec les plus hauts niveaux d'isolement pour un débit d'air moyen d'environ 120 l/s. Il faut rappeler que la variation d'ouverture dans ce dernier cas est dépendante de la quantité de matériel absorbant placé à l'intérieur de l'aérateur.

Conclusion

L'étude portant sur un spécimen de fenêtre coulissante entrouverte et un prototype d'aérateur intégré fait partie d'un plus vaste projet de recherche axé sur l'intégration efficace de la ventilation naturelle en façade de bâtiment. Les expériences réalisées en laboratoire visaient à caractériser de manière sommaire le comportement de deux des solutions retenues. Certains points intéressants se dégagent des diverses observations :

- La présence d'une lame d'air de 80 mm suffit à augmenter l'isolation de la fenêtre fermée de 4 dB.
- L'ouverture de la fenêtre en chicane limite partiellement les débits d'air, mais réduit la pénétration du bruit d'au moins 4 dB par rapport à une ouverture directe équivalente.
- Les niveaux d'isolation pour les ouvertures directes et en chicanes de 80 et 155 mm peuvent être calculés en fonction du pourcentage d'ouverture de la fenêtre, à partir des différents facteurs de transmission des éléments de vitrage.
- Le dispositif d'aération intégré permet une circulation d'air de 120 l/s, tout en conservant un indice d'isolation de STC 39.

Remerciements

La réalisation de ce projet de recherche n'aurait pu être possible sans la précieuse collaboration des professeurs Jean-Gabriel Migneron et André Potvin, de même que le support du Groupe de recherche en ambiances physiques (GRAP) de l'École d'architecture de l'Université Laval.

Références bibliographiques

- [1] Allard, F., «Natural Ventilation in Buildings A design Handbook», éd. James & James, Londres (1998).
- [2] Humphreys, M. A., Nicol, F. J., «Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort», ASHRAE Transactions, SF-98-7-1, p. 1-14 (1998).
- [3] Field, C., «The relationship between good acoustic design practices and sustainable building design» INCE Conference Proceedings 209(1), p. 3385-3393 (2007).
- [4] Ford, R. D., Kerry, G. «The sound insulation of partially open double glazing» Applied Acoustics 6(1), p. 57-72 (1973).
- [5] Ford, R. D., Kerry, G. «Insulating one house against aircraft noise» Applied Acoustics 7(3), p. 193-211 (1974).
- [6] Oldham, D. J., Shen, Y. «A scale model investigation of sound radiation from a large aperture in a building» Applied Acoustics 15(6), p. 397-409 (1982).
- [7] Kang, J., Brocklesby, M. W., «Feasibility of applying micro-perforated absorbers in acoustic window systems» Applied Acoustics 66(6), p. 669-689 (2005).
- [8] Jakob, A., Möser, M., «Active control of double-glazed windows Part I: Feedforward control» Applied Acoustics 64(1), p. 163-182 (2003).
- [9] De Salis, M. H. F., Oldham, D. J., et al. «Noise control strategies for naturally ventilated buildings» Building and Environment 37(5), p. 471-484 (2002).
- [10] ASTM E90-04 «Standard test method for laboratory measurement of airborne sound transmission loss of building partitions and elements» ASTM International (2004).
- [11] ASTM E413-04 «Classification for rating sound insulation» ASTM International (2004).
- [12] Buratti, C., «Indoor noise reduction index with open window» Applied Acoustics 63(4), p. 431-451 (2002).
- [13] Buratti, C., «Indoor noise reduction index with an open window (Part II)» Applied Acoustics 67(5), p. 383-401 (2006).
- [14] ASTM E779-03 «Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization» ASTM International (2004).
- [15] Migneron, J-P., «Noise reduction of a double sliding window in relation with opening configuration» Internoise proceedings (2009).
- [16] Migneron, J-G., «Acoustique urbaine» éd. Masson, Paris (1980).

Annexe

A.1 Formules théoriques d'isolation basées sur les coefficients de transmission

$$\tau_{type_de_verre} = 10^{-\left(R_{type_de_verre} / 10\right)} \quad (1)$$

$$R_{tot_directe} = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_{triple}(1-\%) + \tau_{directe}(\%)} \right) \quad (2)$$

(où % correspond au pourcentage d'ouverture de la fenêtre)

$$k = \left(\frac{surface_{chicane}}{surface_{totale}} \right) \quad (3)$$

$$R_{tot_chicane} = 10 \log \left(\frac{1}{\tau_{triple}(1-2(\%)) + \tau_{double}(\%) + \tau_{simple}(\%) + \tau_{directe} \cdot k(\%)} \right) \quad (4)$$